Рассказ о радиоэлектронике



Л. В. Кубаркин

Рассказ о радиоэлектронике

Массовая радио библиотека

Издательство «Энергия»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 590

Л. В. КУБАРКИН

РАССКАЗ О РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

«Рассказ о радиоэлектронике» представляет собой попытку популярного изложения суммы вопросов, относящихся к радиоэлектронике. В соответствии с этим он состоит из трех частей: Физические основы радиоэлектроники, Средства радиоэлектроники, Прикладная радиоэлектроника. Основное внимание уделено выявлению связи радиоэлектроники с другими областями науки и техники и главенствующей роли радиоэлектроники в современном научно-техническом прогрессе. Книга изобилует занимательными сравнениями и сопоставлениями, облегчающими читателю уяснение материала, помогающими ему понимать физические явления и их значение в работе радиоэлектронной аппаратуры.

Книга предназначена для радиолюбителей и широкого круга читателей, интересующихся радиоэлектроникой и путями современного развития науки и техники.

Кубаркин Леонтий Владимирович
Рассказ о радиоэлектронике

М.—Л. изд во «Энергия», 1965.
256 стр. с илл. Массовая радиобиблиотека. Вып. 590).

Сводный тематический план «Радиоэлектроника и связь», 1965 г., № 175.
Редактор *Г. Г. Гинкин* Техн. редактор *В. Н. Малькова*

Рисунки художника *В. П. Стрельникова*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 19/VII-1965 г. Подписано к печати 6/XI-1965 г.
Формат бумаги 84×108$^1/_{32}$ 13,44 п. л. 13,66 уч.-изд. л. Т-13278 Тираж 130 000 экз.
Цена 70 к. Заказ № 1960

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Великое изобретение нашего соотечественника А. С. Попова, сделанное в самом конце прошлого столетия, положило начало развитию новой области знания — радиотехники, огромная важность которой с каждым годом становилась все очевидней. Первые десятилетия радиотехнику считали только средством связи, не нуждающимся в проводах. Эта замечательная отличительная особенность радио позволяла осуществлять связь в любых условиях, в том числе в таких, в каких известные до того виды и способы связи оказывались несостоятельными, например с подвижными группами на суше, с кораблями на воде, с летательными аппаратами в воздухе и т. п. По радио можно было установить связь с любым адресатом, где бы он ни находился, лишь бы у него была радиостанция.

Радиотехника быстро совершенствовалась. Вначале по радио передавались лишь телеграфные сигналы, но скоро была установлена возможность передачи речи и музыки. Этот этап развития радиотехники ознаменовался необычайно бурным распространением радиовещания — так была названа организация специальных радиотелефонных передач, предназначенных для всех желающих принимать их. Радиовещание быстро стало могучим средством связи с широчайшими массами населения и его сплочения, необычайным по широте и быстроте охвата способом распространения политических и научных знаний, проводником культуры.

Прошло еще не так много лет, и радиотехника освоила передачу не только звуков, но и изображений. Первоначально это были неподвижные изображения — фототелеграф, а затем и движущиеся — то, что мы теперь называем телевидением. Всеобщее увлечение телевидением по своим масштабам превзошло даже увлечение радиовещанием. Это вполне естественно, потому что познава-

тельная ценность изображений, сопровождаемых звуком, гораздо выше, нежели одного звука. Волшебные голубые экраны телевизоров вполне заслужили тот энтузиазм, с которым они были повсюду встречены.

Но высокая ценность телевидения не ограничивалась только тем, что оно вносило в наши дома. Телевизионные установки оказались очень полезны для народного хозяйства, где они применяются для самых разнообразных целей, причем круг этих применений непрестанно расширяется.

Телевидение тоже не было венцом возможностей радиотехники. Скоро стало очевидным, что представление о радио как только о средстве связи было ошибочно. Например, свойство радиоволн отражаться от объектов, находящихся на пути их распространения, привело к возникновению радиолокации — исключительного по своей важности средства обнаружения объектов и установления места их нахождения. Развилась радионавигация, дававшая результаты гораздо более точные, быстрые и надежные, чем известные раньше способы навигации. Получила огромное распространение аппаратура для усиления звуковых частот. Вначале усилители звуковых частот были разработаны как одно из звеньев радиоприемников и радиопередатчиков, но вскоре была выявлена их универсальная пригодность для различнейших назначений, и они зажили самостоятельной жизнью. При их помощи было озвучено кино, осуществлено вещание по проводам, созданы новые системы звукозаписи и пр. Словом, значение радиотехники с каждым днем возрастало, и любители наклеивать этикетки на «эпохи» и «века» уже считали, что наше время по справедливости должно войти в историю под знаменем радиотехники.

И вот сравнительно недавно, в годы особенно бурного расцвета и торжества радиотехники это ее название стало постепенно исчезать с газетных и журнальных страниц, из названий учреждений и с книжных обложек. Взамен его появилось менее понятное слово — радиоэлектроника. В том, что произошла именно замена слов, сомневаться не приходилось: те достижения, которые раньше приписывались радиотехнике, теперь относились на счет радиоэлектроники.

Что же случилось? Почему такое знакомое, понятное и привычное название, как радиотехника, потребова-

лось заменять другим, и что же оно, это новое название, собственно говоря, означает?

Слово радиоэлектроника состоит из двух частей: радио и электроника. Первая часть не нуждается в пояснении: под словом радио понимается передача без проводов на расстояние электрических сигналов. Передача осуществляется с помощью электромагнитных волн (радиоволн), а в понятие «сигналов» входят и звуки речи, и музыка, и сигналы, из которых складываются изображения, и т. д. В соответствии с этим радиотехникой называют комплекс технических способов, служащих для передачи по радио подобных сигналов и для их приема.

Смысл второй части слова — электроника — многим недостаточно ясен. Его происхождение таково. Развитие радиотехнической аппаратуры, помимо всего прочего, связано также с разработкой и совершенствованием многочисленных и разнообразных деталей и приборов, в число которых входят всем теперь известные электронные лампы, микрофоны, громкоговорители, фотоэлементы и многие, многие другие. Действие всех подобных радиотехнических деталей и приборов основано на использовании выявленных наукой особенностей элементарных частиц, главным образом электронов, что и послужило основанием объединить их под общим названием «электроника».

На начальных этапах электронные приборы и устройства использовались только радиотехникой и считались ее принадлежностью. Но затем было найдено, что их применение в ряде других отраслей науки и техники дает исключительно эффективные результаты и способствует их быстрому и плодотворному прогрессу. Это в свою очередь стимулировало быстрое и крайне разностороннее развитие электронных устройств. Поскольку электроника возникла из недр радиотехники и тесно связана с ней, то для этой новейшей области знаний и было предложено объединяющее их название радиоэлектроника. Таким образом, понятие «радиоэлектроника» шире, чем понятие «радиотехника». Оно охватывает всю теорию и практику как радиотехнических, так и электронных устройств и приборов, применение которых может происходить и без участия радио, т. е. без участия радиоволн. Даже такой распространенный теперь при-

бор, как магнитофон, целиком созданный на базе узлов радиотехнической аппаратуры, в настоящее время относится к области радиоэлектронных устройств, как по причине условий совместной эксплуатации с радиоэлектронными устройствами, так и потому, что магнитофон состоит из частей и узлов, связанных друг с другом способами, разработанными радиоэлектроникой.

Радиоэлектроника еще очень молода, но ее роль и значение в наши дни огромны. Не рискуя впасть в ошибку, можно сказать, что передний край современного прогресса научных и технических знаний определяется достижениями радиоэлектроники. Если бы не радиоэлектроника, то в космос не устремлялись бы могучие ракеты, воздушные лайнеры не смогли бы пересекать океаны, демонстрация кинокартин происходила бы, как и вначале, под аккомпанемент рояля — «великий немой» оставался молчащим, не было бы ни радиовещания, ни телевидения, ни атомных электростанций и кораблей, ни сверхбыстрых вычислительных машин, ни электронных микроскопов, ни радиотелескопов, ни синхрофазотронов, ни многого, многого другого. Человечество оказалось бы в ряде отношений отброшенным в прошлый век.

Чему же обязаны радоэлектроника своим значением и своими огромными возможностями?

Необычайный расцвет науки и техники, которым ознаменовались истекшие десятилетия двадцатого века, обусловлен развитием многих областей знания, и в первую очередь физики, но основную и наиболее характерную особенность этого развития можно показать на примере трех важнейших областей — радиоэлектроники, атомной техники и химии.

Радиоэлектроника, атомная техника и химия! Как будто бы между ними не так уж много общего. Вот атомный ледокол, телевизор и лавсановая рубашка — какие точки соприкосновения можно найти между ними?

Между тем такие точки соприкосновения есть, и именно они расчистили ведущее место для радиоэлектроники, вызвали к жизни могучую атомную технику и вдохнули новые силы в химию, помогая ей конкурировать с природой в создании материалов. Это общее состоит в том, что и радиоэлектроника, и атомная техника, и современная химия с равными основаниями могут быть названы техникой элементарных частиц. Они различаются

лишь разной формой использования этих частиц. Именно успехи глубокого изучения строения вещества открыли зеленую улицу радиоэлектронике, атомной технике и химии в ее современном объеме. Каждая из них оперирует элементарными частицами, но каждая по-своему.

Основой строения вещества является атом, состоящий из ядра и электронных оболочек. Химия использует атом как целую единицу. Ее интересует соединение атомов в молекулы. Для этого приходится слегка затрагивать лишь внешнюю электронную оболочку атома. Всем известно, каких чудес достигла химия, пользуясь современными сведениями о строении вещества и комбинированием атомов в молекулы нужного для нее состава и структуры.

Основная область интересов атомной техники — атомные ядра. Она извлекает из ядер огромные количества запасенной в них энергии. Для этого она разбивает на куски ядра тяжелых элементов или соединяет вместе ядра легких элементов. Будничной, повседневной работой наших атомщиков является то, к чему безуспешно стремились средневековые алхимики в поисках «философского камня» — преобразование одних химических элементов в другие.

Радиоэлектроника не интересуется ни перестройкой атомных ядер, ни комбинированием атомов в молекулы. Она оперирует главным образом электронами, фотонами и некомплектными атомами, т. е. такими, в электронных оболочках которых нет полного количества электронов или есть лишние электроны. Свою технику радиоэлектроника строит на использовании этих частиц и связанных с ними электрических и магнитных полей, на взаимодействии этих частиц друг с другом, на особенностях их движения. Радиоэлектроника — это техника заряженных элементарных частиц и фотонов, техника силовых полей, управляющих движением частиц и переносящих энергию.

В радиоэлектронной аппаратуре работают именно они, эти невидимые, неслышимые и неосязаемые элементарные частицы и связанные с ними поля. Поэтому, между прочим, характернейшей особенностью радиоэлектронной аппаратуры является ее внешняя кажущаяся неподвижность и бесшумность. В основе старой «механической» техники лежит движение больших масс. В ее

устройствах движутся, вертятся, поднимаются, опускаются, качаются массивные материальные детали. Все это происходит подчас с шумом, стуком, звоном, лязгом, свистом пара, полыханием пламени, выхлопами, воем моторов, причем все такие проявления работы устройств совсем не являются их полезной продукцией. Электронная аппаратура сама по себе представляется неподвижной и бесшумной. Посмотрите сзади на радиоприемник или телевизор — в них нет ни одной движущейся части, и только изображения на экране и звуки, доносящиеся из громкоговорителя, свидетельствуют о том, что аппарат работает.

Поскольку радиоэлектроника, так же как атомная техника или химия, построена на использовании элементарных частиц и их особенностей, то для знакомства с нею нельзя ограничиться описанием приборов и перечнем достижений. Для этого надо отчетливо представлять себе физические основы данной отрасли техники и познакомиться с ее средствами, созданными на базе этих физических основ, с их особенностями и возможностями. Лишь тогда станет ясна суть радиоэлектроники и понятны причины ее революционизирующей роли в стремительном прогрессе науки и техники наших дней. Само собой разумеется, что сказанное не следует понимать только так, будто радиоэлектроника помогает всем другим наукам, ничего не получая взамен. В действительности в настоящее время между всеми отраслями знания происходит интенсивный обмен идеями и средствами, происходит процесс взаимного обогащения, и радиоэлектроника в этом отношении не представляет исключения.

Физические явления, на которых базируется радиоэлектроника, в значительной мере находятся на самом рубеже разведанного, на переднем крае наших достижений в познании природы. Но физические знания у нас распространены широко, и уже средняя школа дает в этом отношении достаточный запас сведений; однако не все представляют себе, какие именно явления стали фундаментом радиоэлектроники и как они используются для работы ее приборов.

В соответствии с этим первая часть книги имеет целью помочь читателю освежить и в какой-то степени осовременить свои знания в той области физических яв-

лений, которая нужна для понимания радиоэлектроники. Это необходимо, потому что не всегда бывает легко и просто связать физическое явление с конкретной формой его использования в том или ином приборе. Вторая часть книги содержит общий обзор технических средств, созданных радиоэлектроникой на основе использования этих физических явлений. Наконец, в третьей части дается обзор основных видов практического применения технических средств радиоэлектроники, как в ее собственных разделах, так и в других областях науки и техники.

Книга предназначается для массового читателя, главным образом для радиолюбителей. Это, а также объем книги определили уровень и степень подробности изложения отдельных ее подразделов. Хорошо известные радиолюбителям вопросы излагаются с меньшими подробностями, чем вопросы менее известные. Для облегчения понимания кое-где допущены упрощенные толкования и способы пояснения. Обширность темы и заданный объем книги позволили в каждом из ее подразделов привести только основные общие сведения, нужные для того, чтобы у читателя составилось сколь возможно полное представление обо всем предмете в целом.

Автор будет благодарен за все отзывы о книге, замечания и пожелания, которые надо посылать в адрес издательства: Москва, Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, издательство «Энергия», Массовая радиобиблиотека.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Строение вещества

Тайны строения вещества давно интересовали людей. Более 2500 лет назад греческие философы Левкипп и Демокрит высказали предположение о том, что никакое вещество нельзя делить на сколь угодно малые части, делить до бесконечности. По их гипотезе существуют мельчайшие частицы вещества, которые уже нельзя разделить. Левкипп назвал их атомами, что по-гречески означает неделимые. Однако в то время это предположение значительно опережало общее развитие знаний и не стало общепризнанным.

С тех пор изучение строения вещества продвинулось далеко вперед, и мы знаем, что греческие провидцы были правы, но лишь в самых общих чертах. Правда, еще и теперь в книгах и даже в учебниках и словарях можно найти утверждения, что мельчайшей частицей вещества является атом, однако в действительности вопрос этот далеко не так прост. В большинстве случаев вещество, с которым нам приходится иметь дело, бывает сложным по составу. Его мельчайшей частицей является не атом, а молекула, образованная сочетанием атомов различных химических элементов. Такую молекулу можно разделить, но полученные в результате этого части уже не будут данным веществом. Так, молекулу воды можно разделить, но следствием этого деления будут атомы газов водорода и кислорода. Значит, в данном случае «неделимым атомом» будут не атомы, а молекула.

Химические элементы состоят из атомов, т. е. из достаточно сложных образований. В центре такого образования находится ядро, окруженное электронными обо-

лочками. Атом можно делить, можно, например, «оторвать» от него все электронные оболочки. Останется ядро, обладающее какой-то массой и определенным положительным электрическим зарядом. Масса ядра может претерпевать некоторые изменения, от этого принадлежность ядра данному химическому элементу не изменится. Но заряд ядра не может быть изменен. Изменив заряд, ядро сделается ядром какого-нибудь другого элемента. Таким образом, мельчайшей частицей данного элемента надо считать ядро того достаточно сложного образования, которое мы теперь называем атомом. У этого ядра совершенно определенный заряд, а величина массы может варьироваться.

Итак, атомом с большим правом следовало бы назвать не то, что мы теперь называем этим именем, а его ядро, отличительной чертой которого является величина заряда. Но и этот «атом» не может считаться неделимым. Его можно разделить на куски, которые в соответствии со своими зарядами станут ядрами других химических элементов.

Забегая вперед, можно сказать, что атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Может быть эти-то частицы можно считать мельчайшими и неделимыми? Современная физика считает, что этого делать нельзя. Вероятно, они тоже могут быть разделены на более мелкие частицы, для которых уже даже придумали название — кварки (в переводе на русский язык — черти или бесы).

Из этого вступления видно, что ни название «атом» (неделимый), ни представление о нем как о мельчайшей частице вещества не соответствует действительности — атом делим, — а род вещества, к которому принадлежит данный атом, определяется зарядом ядра атома. Но тем не менее атом является очень важной частицей или образованием из частиц, и для понимания радиоэлектроники знакомство с ним необходимо.

По современным воззрениям структура атома представляется в таком виде.

Атом представляет собой некое отдаленное подобие солнечной системы (рис. 1), причем надо иметь в виду, что такое сравнение хотя и популярно, но неточно. Им пользуются исключительно в целях наглядности. В центре атома находится ядро, окруженное орбитами, по ко-

торым движутся электроны, выполняющие в данном сравнении роль спутников.

Ядро атома состоит из частиц двух видов — протонов и нейтронов. Протон имеет положительный электрический заряд, равный $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ абсолютных электростатических единиц или $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*. Такой заряд считается элементарным (наименьшим), так как меньшие заряды ни разу не наблюдались. Масса протона $1{,}6794 \cdot 10^{-24}$ *г*.

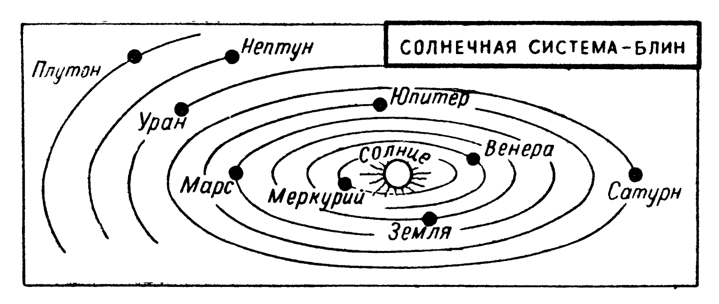


Рис. 1.

Размеры протона ничтожны — меньше миллиардной доли микрона. Из этих цифр можно вывести, что удельный вес ядерного вещества невероятно велик, он составляет примерно $1{,}2 \cdot 10^{14}$, т. е. в 120 триллионов раз больше удельного веса воды. Два с половиной кубических метра вещества протона весят столько же, сколько вся вода Черного моря.

Вторая ядерная частица — нейтрон — имеет чуть меньшую массу, а именно $1{,}675 \cdot 10^{-24}$ *г*. У нейтрона нет электрического заряда.

Протоны и нейтроны упакованы в ядре очень плотно. Ядерные частицы притягиваются друг к другу могучими внутриядерными силами, сущность которых еще не выяснена. Эти силы удерживают друг возле друга протоны, несмотря на то, что они, как имеющие одинаковый электрический заряд, отталкиваются и стремятся разлететься.

Размеры ядра атома невелики. Поперечник ядра составляет в среднем 10^{-12}—10^{-13} *см*, а поперечник всего атома — около 10^{-8} *см*, т. е. примерно в 10 000 раз больше поперечника ядра (рис. 2).

Заряд ядра определяется количеством протонов. У всех атомов данного химического элемента оно одинаково.

Но число нейтронов в ядрах одного и того же элемента может быть разным. Так, например, в ядре атома кислорода 8 протонов и, следовательно, заряд его равен 8 единицам. У большинства атомов кислорода имеется также 8 нейтронов, но бывают ядра атомов кислорода с 7, 9 и 10 нейтронами. Масса этих ядер, естественно, неодинакова, но тем не менее все они являются атомами кислорода и в химическом отношении неразличимы. Такие ядра с одинаковыми зарядами и разной массой называют изотопами. Ядро водорода — самого легкого хи-

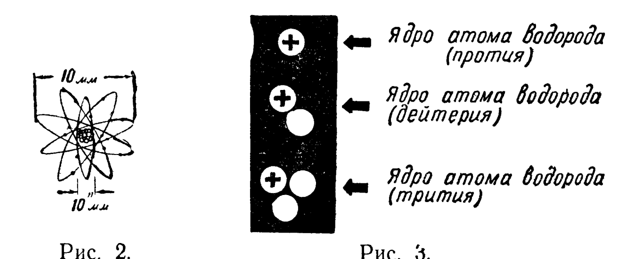


Рис. 2. Рис. 3.

мического элемента — состоит в основном из одного протона. Но встречаются ядра водорода, в которых есть также один нейтрон. Это ядро атома так называемой тяжелой воды — дейтерия. Таких ядер в воде около 0,014%. Дейтерий — изотоп воды. Известны ядра атома водорода с 2 нейтронами (тритий). Ядра трития образуют в соединении с кислородом сверхтяжелую воду (рис. 3). Тритий радиоактивен. В течение немногим больше 12 лет половина его ядер распадается. Считают, что во всей имеющейся на Земле воде содержится около килограмма трития. Но так как атомы крайне малы, то в килограмме трития столько атомов, что в каждой капле воды, откуда бы она ни была взята, всегда найдется атом трития. В 1963 г. в ускорителях был получен квинтий — водород, в ядре которого четыре нейтрона.

Ядро атома окружено электронными оболочками. У нормального атома в электронных оболочках находится столько же электронов, сколько протонов в его ядре. Заряд электрона имеет такую же величину, что и заряд протона ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*), но знак этого заряда отрицательный. Поэтому положительный заряд ядра полностью

уравновешивается отрицательным зарядом электронов, и атом в целом получается нейтральным, не имеющим электрического заряда. Масса электрона в 1836,5 раз меньше массы протона, она равна $9{,}1 \cdot 10^{-28}$ *г*. Поскольку в ядре атома столько же протонов, сколько электронов в его оболочках, то можно без большой ошибки считать, что вся масса атома заключается в его ядре (рис. 4).

В число сведений, характеризующих любой объект, всегда входят его размеры. Естественно, что для нас очень большой интерес представляют размеры элек-

$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ к
$1{,}2 \cdot 10^{-12}$ мм
$9{,}1 \cdot 10^{-28}$ г
электрон
$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ к
$1{,}679 \cdot 10^{-24}$ г
$12 \cdot 10^{13}$ удельный вес
протон
$1{,}675 \cdot 10^{-24}$ г
нейтрон

Рис. 4.

трона. Однако на этот вопрос наука ответить пока не может. Ни о его форме, ни о его размерах нет никаких данных. Представление о форме электрона (равно как и всех других элементарных частиц) как о каком-то шарике является чисто условным и применяется только для наглядности. Однако можно сказать, что условным поперечником электрона считают величину около $1{,}2 \cdot 10^{-13}$ *см*. Эта величина во всяком случае характеризует тот объем, в пределах которого сильно проявляются свойства электрона и приближение к которому можно считать соударением с электроном.

Кроме трех названных элементарных частиц — протона, нейтрона и электрона, есть еще довольно много других частиц, которые исчисляются уже десятками. Ими усиленно занимается физика, стремящаяся проникнуть в тайны строения атомного ядра и взаимодействия частиц между собой. Мы не будем знакомиться с ними, так как они прямого отношения к радиоэлектронике не имеют, но отметим, что электрические заряды всех элементарных частиц по абсолютной величине либо равны заряду электрона, либо равны нулю. Двух- или многозарядных элементарных частиц нет. У каждой частицы есть своя «античастица». Если частица имеет электриче-

ский заряд, то ее античастица имеет заряд другого знака. Так, античастицей электрона является позитрон, все данные которого абсолютно совпадают с электроном, но заряд не отрицательный, а положительный.

Обычно для объяснения устройства атома сравнивают его с планетной системой. Мы на стр. 14 уже использовали такое сравнение. Центральное светило уподобляется ядру, а электроны приравнивают к планетам-спутникам. Когда сведения об элементарных частицах были еще очень скудны, то именно так и представляли себе

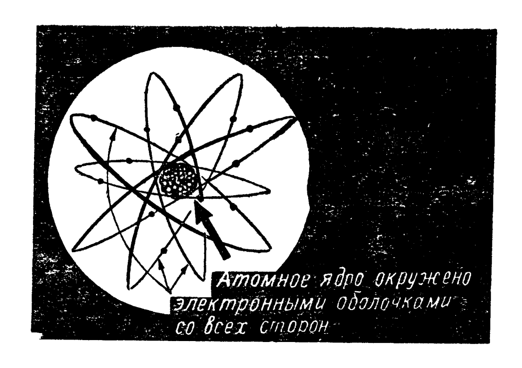


Рис. 5.

атом даже физики. Но по мере накапливания знаний становилось очевидным, что сходство между планетной системой и атомом в отношении устройства существует лишь весьма минимальное. Оно заключается в том, что ядро, подобно солнцу, помещается в центре системы, а электроны-спутники обращаются вокруг него. Но это обращение имеет совсем другой характер. Планеты обращаются по орбитам, а электроны распределяются в атоме по оболочкам (рис. 5). Это значит, что у электрона нет определенной орбиты и он в своем движении вокруг ядра как бы размывается по некоторой замкнутой оболочке (рис 6). Эти оболочки могут быть шарообразными, но могут быть и вытянутыми. Нашему воображению трудно представить это размывание электрона по оболочке, но так или иначе приходится считаться с этим фактом.

Электронные оболочки располагаются на разном расстоянии от ядра, причем в каждой оболочке может быть несколько электронов, но не больше определенного количества. В первой, ближайшей к ядру оболочке может быть не больше двух электронов. Только атомы двух химических элементов имеют лишь одну (первую) оболочку — это водород с его одним электроном и гелий, в ядре которого два протона (и два нейтрона) и поэтому он имеет в оболочке тоже два электрона.

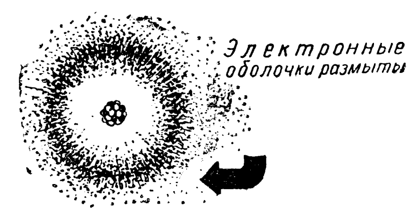
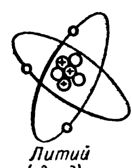


Рис. 6.

У следующего по величине заряда химического элемента — лития в ядре содержится три протона, которые должны уравновеситься в электрическом отношении тремя электронами. Но в первой оболочке может быть не больше двух электронов. Поэтому у атома лития есть вторая электронная оболочка, в которой находится один электрон.

Во второй оболочке не может быть больше восьми электронов. Столько их у атома известного всем газа неона. Всего в двух его оболочках десять электронов: два — в первой и восемь — во второй, следовательно, в его ядре содержится десять протонов. У следующего по величине заряда — атома натрия — одиннадцать электронов, поэтому у него уже три электронные оболочки: в первой — два электрона, во второй — восемь и в третьей — один. Всего в третьей оболочке может быть до восемнадцати электронов, в четвертой — до тридцати двух и т. д. Чем тяжелее химический элемент, тем больше заряд его ядра и соответственно больше электронов в его оболочках и тем больше самих оболочек. У урана, например, в ядре 92 протона, а его 92 электрона распределены по семи оболочкам (в ближайшей к ядру 2 электрона, затем 8, далее 18, 32, 21, 9 и 2).

В полностью укомплектованном атоме число электронов в оболочках равно числу протонов в ядре, поэтому атом в целом электрически нейтрален. Но атомы не всегда бывают нейтральными. При разных обстоятельствах они могут терять часть электронов или захватывать лишние «сверхкомплектные» электроны. Особенно легко это делают атомы, у которых внешняя электронная оболочка не заполнена полностью. Например, у алюминия в третьей оболочке всего три электрона (2 — в первой, 8 — во второй, и 3 в третьей), а в этой оболочке может быть до 18 электронов. Утрата или захват лиш-



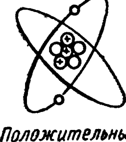




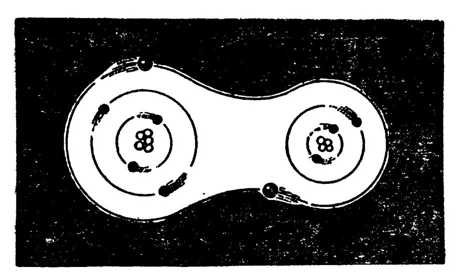
Рис. 7.

них электронов всегда происходят во внешней электронной оболочке.

Атом, потерявший электрон, становится положительно заряженным, потому что один из протонов его ядра уже не уравновешивается электроном. Если атом захватит лишний электрон, то он становится отрицательно заряженным (рис. 7). Атомы, имеющие заряд, называются ионами. Это название было дано Фарадеем. Ион — значит «странствующий». Явление потери или захвата электронов атомами называется ионизацией, а атом с нехваткой или излишком электронов называется ионизированным. Атомы с недостающими электронами получили название положительных ионов, а атомы с лишними электронами — отрицательных ионов.

Так как ионы несут на себе электрический заряд, то им присущи все проявления зарядов, в частности движение ионов представляет собой электрический ток. Однако движение ионов, крупных образований по сравнению с отдельными частицами, легко происходит лишь в жидкостях и газах. В твердых телах ионам передвигаться трудно, поэтому носителями тока здесь обычно являют-

ся электроны. Особенно легко теряют электроны атомы металлов. В металлах всегда много оторвавшихся от атомов так называемых свободных, вернее полусвободных электронов, которые движутся во всех направлениях между атомами. Свободных электронов в металлах чрезвычайно много, по крайней мере столько же, сколько атомов, а это число непомерно велико. Например, в булавочной головке столько атомов железа (больше чем



Валентные электроны связали два атома в молекулу

Рис. 8.

10^{19}), что если взять такое же количество кирпичей и уложить их один к другому по всей суше земного шара, то толщина слоя кирпичей будет около 100 *м*.

Движение электронов в металлах и вообще в проводниках представляет собой тепловое движение, поскольку нагревание по своей физической сущности представляет собой увеличение скорости движения элементарных частиц, а охлаждение — замедление скорости их движения. Большая подвижность электронов в металлах объясняет высокую теплопроводность металлов. Тепловое движение электронов является хаотическим движением, не имеющим какой-либо определенной направленности. Электроны движутся в разные стороны. Любому электрону, движущемуся в одну сторону, всегда найдется другой электрон, движущийся с такой же скоростью в противоположную сторону. Поэтому электрические проявления их движения взаимно погашаются и не обнаруживаются.

Электроны внешней орбиты атома часто используются также для соединения атомов в молекулы (рис. 8).

При этом, например, по одному электрону внешних оболочек двух атомов образуют как бы общую внешнюю оболочку обоих атомов и этим связывают их.

Электронам каждой оболочки атома соответствует определенная энергия. Чем дальше от ядра расположена оболочка, тем энергия находящихся на ней электронов больше. Атом наиболее устойчив тогда, когда все электроны его оболочек имеют наименьшую возможную в данном атоме энергию. Например, в упомянутом выше атоме натрия электроны будут располагать наименьшей энергией при указанном распределении их по оболочкам: 2 электрона в первой (внутренней) оболочке, 8 во второй и 1 в третьей.

Электроны атомных оболочек будут сохранять такое положение или, как говорят, будут находиться на таких энергетических уровнях до тех пор, пока в атом не поступит энергия извне. Поступление энергии происходит чаще всего при попадании в атом фотона, т. е. кванта света или другого излучения, при нагревании и т. д.

Поступление в атом энергии может произвести на него разное действие. Объясняется это тем, что энергия электронов в атоме не может принимать произвольные значения. Эта энергия, как говорят, квантована. Каждой оболочке соответствует совершенно определенный «разрешенный» энергетический уровень. Электрон может перейти с более близкой на более удаленную оболочку из числа «разрешенных», энергетический уровень которой больше, лишь в том случае, если он получит такое количество энергии, которое численно равно разности энергий более отдаленной оболочки атома и той оболочкой, на которой электрон находится. Получив такое количество энергии, электрон перескакивает на более отдаленную оболочку. В результате такой атом имеет бо́льшую энергию, чем обычный атом этого рода, в котором все электроны находятся на своих оболочках. Такой атом называют возбужденным — он возбудился вследствие поступления в него со стороны некоторого количества энергии.

Обычно возбужденный атом не может долго пребывать в возбужденном состоянии. Примерно через 0,00000001 (одну стомиллионную) секунды электрон перескакивает обратно на свою обычную оболочку, а избыток энергии (разность между уровнями) отдает в ви-

де излучения. Если такое перескакивание электрона происходит во внешних оболочках атома, то избыток энергии отдается в виде излучения кванта света (фотона) такой длины волны, какая соответствует данному количеству энергии. При перескакивании электронов внутренних оболочек происходит излучение рентгеновых лучей (фотонов с длиной волны рентгеновых лучей). Ядро при некоторых обстоятельствах может излучать фотоны гамма-лучей (рис. 9).

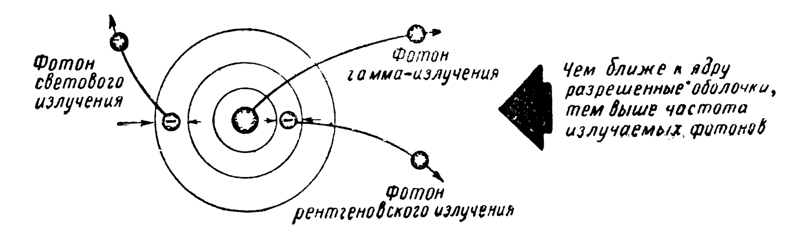


Рис. 9.

Если энергия, полученная атомом, не соответствует указанной величине (ее часто называют разрешенной величиной), то она перейдет в тепловую энергию, что физически будет означать или увеличение скорости движения атома, или увеличение размаха его колебаний, поскольку то, что мы называем теплом, есть скорость движения частиц. Надо особо подчеркнуть, что у одиночного атома, т. е. не связанного с другими атомами, величина энергии перехода электрона с оболочки на оболочку строго постоянна, поэтому атом поглощает и излучает при обратном переходе электрона колебания одной и той же частоты, или, другими словами, фотон точно одной и той же энергии, которая не меняется ни при каких обстоятельствах. Интересно, что часы, в основу работы которых положена эта особенность, дают ошибку хода не более чем на 1 *сек* в три тысячи лет!

Если атом не является одиночным, а связан с другими атомами, то число «разрешенных» энергетических уровней у него увеличивается, в соответствии с чем он может поглощать и излучать фотоны разных энергий, т. е. может излучать свет разной длины волны — разного цвета.

Введение в атом энергии «разрешенного» уровня может не вызвать перескакивание электрона с одной оболочки на другую. У электронов есть одна характеризующая их особенность, которую называют «спином». Если упрощенно представить себе электрон в виде шарика, то «спин» с таким же упрощением можно считать вращением этого шарика вокруг своей оси. Такой же «спин» есть и у других элементарных частиц, в частности, у протонов. Атом основного изотопа водорода состоит, как известно, из одного протона в ядре и одного электрона в оболочке. У атома водорода могут быть два энергетических состояния: когда «спины» протона и электрона совпадают по направлению (вращаются в одну сторону) и когда их «спины» не совпадают. Первый случай соответствует большему энергетическому уровню. Для того чтобы перевести атом водорода из меньшего уровня в больший, надо воздействовать на него квантом электромагнитного колебания, соответствующего длине волны в 21 *см*. Поглотив этот квант (фотон), атом переходит на больший энергетический уровень. При обратном переходе атом излучает квант, соответствующий этой же длине волны. В космическом пространстве много атомов водорода, и оттуда непрерывно поступает излучение на волне 21 *см*, которое принимается радиотелескопами.

Нам уже несколько раз приходилось характеризовать излучение то как частицу, обладающую определенной энергией, то как колебание с определенной частотой или длиной волны. Это не ошибки, не оговорки, но точное отражение действительности. Например, свет, рентгеновское излучение, ультрафиолетовое излучение, радиоизлучение и т. д. проявляют себя и как частицы, которые могут даже производить определенное давление (световое давление было экспериментально доказано нашим ученым П. Н. Лебедевым), и как электромагнитные волны, частота которых (в герцах)

$$F = \frac{300\,000\,000}{\lambda}.$$

Здесь λ — длина волны (в метрах), а 300 000 000 — скорость распространения света (метры в секунду).

Фотоны принадлежат к элементарным частицам особого рода — у них нет массы покоя. Поэтому они дви-

жутся с наибольшей возможной в природе скоростью, которая называется скоростью света. Но не только фотоны имеют такую двойственную природу, являясь одновременно и частицами и волнами. Этим же свойством обладает и любая элементарная частица, имеющая массу, например электрон. У электрона есть масса, являющаяся массой покоя. По теории относительности, масса тела при его движении увеличивается. Однако при тех скоростях, которые приобретает электрон в радиоаппаратуре, с этим увеличением массы можно не считаться. Заметное приращение массы начинается лишь при приближении к скорости света, например, при скорости 260 000 *км/сек* масса движущегося тела удваивается. Однако в радиоаппаратуре электроны не развивают скорости, превышающей 0,1 скорости света, т. е. 30 000 *км/сек*. При такой скорости масса электрона увеличивается всего в 1,005 раза.

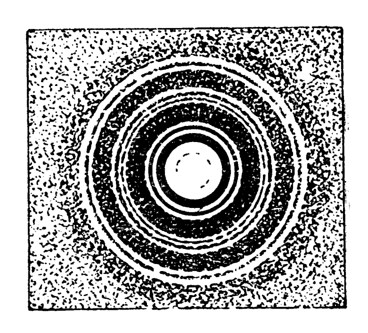


Рис. 10.

Волновые свойства, которыми обладают движущиеся тела, не являются электромагнитными волнами. Это волны особого рода, называющиеся «дебройлевскими» по имени открывшего их физика Де-Бройля. Длина этих волн зависит от массы тела и от скорости его движения. Длина волны Де-Бройля тем меньше, чем больше масса движущегося тела и чем меньше его скорость. При тех скоростях, которые развивают электроны в радиоаппаратуре, длина их волны бывает порядка 0,005—0,00005 *мк*, т. е. примерно такая же, как у рентгеновых лучей.

Волновые свойства электронов легко обнаруживаются экспериментально. Например, для этого пропускают пучок электронов через некоторые кристаллические вещества. Падая затем на фотопластинку, электроны создают типичную картину дифракции, что может быть объяснено исключительно их волновой природой (рис. 10).

Длина волны электрона связана с теми электронными оболочками атомов, которые для каждого атома данно-

го рода являются «разрешенными». Как указывалось только что, каждая электронная оболочка атома соответствует определенной энергии электрона, причем электрон в данном атоме не может иметь энергию любой величины. В атоме каждого рода имеется определенный «набор» разрешенных уровней, набор «разрешенных» оболочек. Этими разрешенными оболочками являются такие, на которых длина волны электрона укладывается целое число раз: на первой, самой близкой к ядру оболочке — одна волна, на второй — две волны и т. д. Электрон в атоме может иметь только такую энергию, какая в атоме данного рода «разрешена».

Таким образом, то, что электрон имеет свойства не только частицы, но и волны, играет очень существенную роль. Например, как мы знаем, свечение вещества связано с перескакиванием электронов с оболочек или орбит с большим энергетическим уровнем на оболочки с меньшим энергетическим уровнем, причем обе эти оболочки должны быть «разрешенными».

Выше было подчеркнуто, что волновые свойства электрона не следует смешивать с электромагнитными волнами. Это «дебройлевские» волны, природа которых пока не выяснена. Но электрон при определенных обстоятельствах может излучать и электромагнитные волны. Например, если летящий электрон тормозится, то он излучает электромагнитную волну. При торможении энергия электрона уменьшается, а разница в уровнях энергии отдается в виде электромагнитного излучения, которое так и называется «тормозным» излучением. Точно также электромагнитным излучением сопровождается и изменение направления движения электрона. На то, чтобы изменить направление его движения, надо израсходовать определенную энергию, которая электрону не сообщается (скорость его движения не увеличивается), а излучается в виде электромагнитной волны.

Надо подчеркнуть еще раз, что волновыми свойствами (имеются в виду дебройлевские волны) обладают все движущиеся тела. Но так как их скорости незначительны, а массы велики, то их длины волн так малы, что лежат за пределами доступного для обнаружения. Практически их можно заметить только у элементарных частиц, масса которых исключительно мала, а скорость движения может быть весьма велика.

Ударяясь о какую-нибудь поверхность, в особенности металлическую, электроны выбивают из нее другие электроны, которые часто называют вторичными. В особенности резко наблюдается это явление при ударе электронов о металлическую поверхность, так как в металлах много свободных электронов и электроны легко отрываются от атомов.

Выбитые электроны вылетают из металла или иного материала во внешнее пространство, где они могут быть различными способами использованы в электронных приборах. Но это не единственный способ «вырывания» электронов из вещества. Есть и другие способы. Но для того, чтобы лучше понять, что происходит в веществе при электронной бомбардировке, заглянем внутрь его.

Вещество — мы в данном случае имеем в виду твердое вещество — представляет собой огромное скопление атомов (или молекул). Эти атомы могут быть правильно сгруппированы, образуя кристаллическую пространственную решетку. Так атомы расположены в металле, в кристаллах. Строение вещества может быть и не кристаллическим, при этом в нем нельзя усмотреть повторяющийся порядок группирования атомов. В радиоэлектронике наиболее часто приходится иметь дело с веществами кристаллического строения, поэтому мы будем говорить главным образом о них. В таких веществах, в особенности в металлах, много свободных или полусвободных электронов. Они движутся во всех направлениях. Ионы вещества, образующие пространственную решетку, совершают тепловые колебания относительно своего среднего положения. Движение электронов и колебания ионов являются мерой тепла.

Движение электронов внутри тела не встречает особенных препятствий. Расстояния между частицами в атоме по сравнению с их размерами очень велики, атомы тоже не расположены вплотную друг к другу, поэтому столкновения движущихся электронов с частицами вещества не так часты. Заряженные положительно ионы притягивают к себе электроны, но каждый электрон со всех сторон окружен ионами, поэтому их действие уравновешивается и на движении электрона не сказывается. Все электроны, как имеющие заряд одного знака, отталкиваются, но каждый из них окружен другими электронами со всех сторон, и их действие тоже нейтрализуется.

Иначе дело обстоит у границы тела. Так как каждый атом окружен электронными оболочками, то естественно, что самый пограничный слой состоит из электронов, а атомные ядра находятся от границы на расстоянии, равном расстоянию от ядра до наиболее удаленной электронной оболочки (рис. 11). Это легко понять из такого сопоставления — любое тело, подлетающее к нашей солнечной системе из космоса (в плоскости эклиптики), сначала встретит планеты и, лишь миновав их, достигнет Солнца.

Электроны в веществе движутся в самых различных направлениях. Среди них очень много и таких, направле-

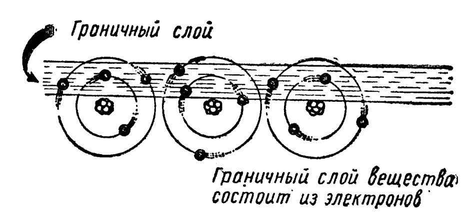


Рис. 11.

ние движения которых приводит их к пограничному слою. Если бы здесь, как и внутри вещества, ничто не препятствовало их движению, то они выскочили бы из тела во внешнее пространство. Но в действительности пограничный слой задерживает их. Стоит электрону миновать слой ядер пограничных ионов, как их притягивающее действие не будет ничем уравновешиваться, и оно начнет тормозить движущийся электрон. А входящие в состав пограничных атомов электроны будут отталкивать его внутрь тела. Таким образом, и притягивающее действие ядер и отталкивающее действие электронов будут направлены в одну сторону — они будут препятствовать вылету электрона.

Конечно, этот пограничный барьер не может быть совершенно непреодолимой преградой. Если электрон обладает достаточной энергией, то он прорвется сквозь граничный слой и вылетит за пределы тела. Энергия электрона зависит от его скорости. При обычных температурах скорость теплового движения электронов внутри вещества не бывает достаточна для их вылета, но при различных

обстоятельствах электроны могут приобретать нужную для вылета скорость.

Об одном из таких обстоятельств мы уже говорили. Электроны, летящие в пространство, могут встретить на своем пути какой-либо объект и с силой удариться о него. При достаточном соотношении энергий один такой налетающий на тело электрон может, тормозясь, отдать свою энергию нескольким электронам, в результате чего они приобретут скорость, нужную для вылета. Обычно это бывают электроны пограничного слоя.

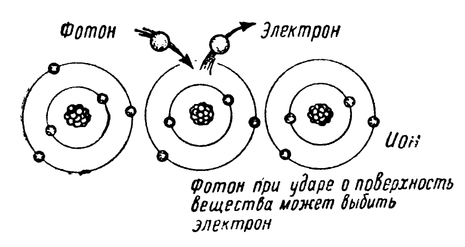


Рис. 12.

Другим, наиболее распространенным способом помощи вылету электронов из тела является его нагревание. При нагреве скорость движения электронов возрастает и в конце концов достигает такой величины, что электроны преодолевают сопротивление поверхностного (барьерного) слоя и начинают вылетать во внешнее пространство. Такие электроны иногда называют термоэлектронами. Сам вылет электронов называется электронной эмиссией или просто эмиссией. В данном случае это будет термоэмиссия. Термоэлектронная эмиссия начинается из металла обычно при температуре порядка 2 000° С, которая соответствует белому калению. Эту температуру можно значительно уменьшить, покрывая металл особыми веществами (активаторами), уменьшающими противодействие поверхностного слоя, например оксидом или барием.

Получение электронной эмиссии путем электронной бомбардировки и нагреванием очень широко используется в электронике.

Электронная эмиссия может быть вызвана светом. Фотоны при столкновении с поверхностью вещества могут

выбивать из него электроны, сообщая им нужную для вылета энергию (рис. 12). Электроны, выбитые при помощи освещения, получили название фотоэлектронов, а самое явление называют фотоэмиссией. Оно называется также фотоэффектом или внешним фотоэффектом, поскольку в данном случае электроны, получив от фотонов дополнительную энергию, вылетают во внешнее пространство.

Фотоэффект может быть вызван не только фотонами видимого света, но также фотонами с большей энергией, например ультрафиолетовыми лучами, и фотонами, энергия которых меньше, например инфракрасными лучами.

Мы познакомились с тремя способами получения эмиссии электронной бомбардировкой (а также и ионной бомбардировкой), нагреванием и облучением фотонами. Между этими способами есть качественная разница, практически очень важная. При нагревании электронная эмиссия несколько запаздывает. Никакое тело нельзя нагреть мгновенно, поэтому эмиссия электронов начнется лишь через некоторое время после подведения тепла. А после прекращения нагревания тело остывает тоже не мгновенно, а спустя некоторый промежуток времени. Поэтому после прекращения нагревания эмиссия будет продолжаться в течение какого-то срока, зависящего от условий охлаждения, рода материала, его формы и размеров.

Эта особенность термоэмиссии по своему характеру напоминает инерцию.

При облучении электронами и фотонами такого запаздывания не наблюдается. Эмиссия электронов возникает сразу же после начала облучения и немедленно прекращается после его окончания. Инерции эмиссии здесь не может быть, так как очевидно, что электроны могут быть выбиты только тогда, когда выбивающая причина действует.

Особенности всех этих видов электронной эмиссии очень широко используются в радиоэлектронике. Без фотоэффекта, например, не было бы телевидения, фототелеграфа и т. д., а если бы у термоэмиссии не было инерции, то питание радиоэлектронной аппаратуры переменным током было бы чрезвычайно затруднено.

Причины, подобные только что рассмотренным, не всегда вызывают эмиссию электронов во внешнее прост-

ранство. Например, облучение фотонами не у всех веществ приводит к электронной эмиссии. Есть вещества, у которых под воздействием фотонов происходит отрыв электронов от атомов. В результате внутри вещества образуются свободные электроны, которые получают возможность двигаться и образовывать электрический ток. Это явление получило название внутреннего фотоэффекта, поскольку выбитые фотонами электроны не вылетают во внешнее пространство, а остаются внутри тела. Внутренний фотоэффект в отличие от внешнего имеет некоторое запаздывание. После прекращения облучения электроны не сразу захватываются атомами, а еще некоторое время имеют возможность передвигаться и образовывать ток постепенно уменьшающейся величины. Начало внутреннего фотоэффекта практически не запаздывает. Это различие между внешним и внутренним фотоэффектом дает возможность выбора фотоэффекта применительно к требованиям, предъявляемым к устройству. В одних случаях бывает выгоднее воспользоваться внешним фотоэффектом, в других — внутренним.

Нагревание, не доведенное до температуры возникновения электронной эмиссии, в разных веществах вызывает неодинаковые следствия. Если в веществе много свободных электронов, как, например, в металлах, то нагревание почти не приводит к освобождению новых электронов, но создает дополнительные препятствия движению имеющихся свободных электронов. Поэтому при прочих равных условиях нагревание приводит к уменьшению тока, т. е. к увеличению сопротивления.

В других случаях в веществе при обычных температурах может не быть свободных электронов, поскольку они прочно удерживаются в атомах. Поэтому ток образоваться в таком веществе не может или он бывает очень мал. При нагревании размахи колебания атомов увеличиваются и создаются благоприятные условия для отрыва электронов. В веществе появляются свободные электроны и может образоваться ток, который будет возрастать с увеличением температуры нагрева. Даже очень хорошие изоляторы, такие, как стекло, при сильном нагревании становятся проводниками. В особенности сильно заметно увеличение проводимости при повышении температуры у полупроводников, которые в настоящее вре-

мя играют очень большую роль в технике и с которыми мы познакомимся дальше.

В завершение этого раздела надо сказать несколько слов о той поверхности, с которой происходит электронная эмиссия. При вылете электрона один из имеющихся в теле протонов окажется не уравновешенным, и на поверхности образуется положительный заряд. Если эмиттирующая поверхность является хорошим проводником, например металлическая, то обладающие большой подвижностью электроны моментально распределятся по поверхности равномерно и ее заряд повсюду будет одинаков. Но если поверхность не представляет собой проводник, то положительные заряды, образовавшиеся на месте выбитых электронов, не будут компенсированы притоком электронов и положительный заряд сохранится.

Это явление используется в некоторых радиоэлектронных приборах для своеобразной «записи» электрическим способом. Способная эмиттировать поверхность подвергается облучению фотонами или электронами с разной интенсивностью в различных местах, что создает на ней потенциальный «рельеф» соответствующей величины, который сохраняется иногда очень долгое время. Подобного рода «электронная запись» используется в передающих телевизионных трубках, в некоторых устройствах «памяти» электронно-вычислительных машин и т. п.

Электрическое и магнитное поля

Каждый электрический заряд создает вокруг себя электрическое поле, условно изображаемое линиями со стрелками, показывающими направление действия сил в этом поле.

У одиночного заряда линии поля направлены радиально во все стороны (рис. 13). У близко расположенных разноименных зарядов линии поля направлены преимущественно от одного к другому. За направление поля условно считается направление от положительного заряда к отрицательному, силовые линии поля выходят из положительного заряда и входят в отрицательный. Общая картина электрического поля изображена на рисунке (рис. 14).

Носителями зарядов, как уже упоминалось, являются электроны и протоны. Практически носителями положи-

тельных зарядов служат также и положительные ионы — атомы, лишенные одного из комплектных для них электронов, иногда даже нескольких электронов. Образование на каком-либо теле электрических зарядов представляет собой перераспределение образующих его элемен-

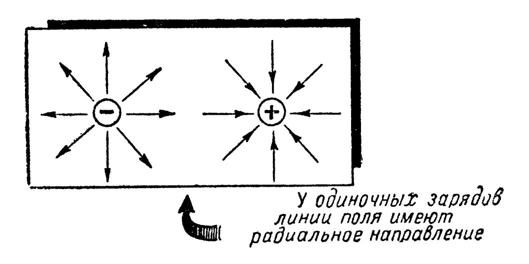


Рис. 13.

тарных частиц, имеющих заряды. В большинстве случаев это бывают электроны и положительные ионы. Сосредоточение на одном конце провода, металлического бруска или иного тела электронов, а на другом конце положительных ионов будет означать, что тело заряжено. Чем больше концентрация электронов или положительных ионов, тем заряд больше.

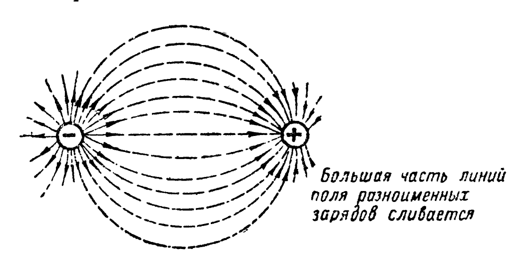
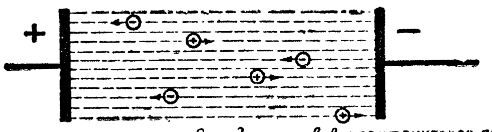


Рис. 14.

Электрические заряды, попав в электрическое поле, начинают двигаться. Движение происходит в сторону заряда с противоположным знаком — отрицательный заряд движется к положительному, а положительный к отрицательному (рис. 15). Если заряд был неподвижен и в месте его нахождения возникло электрическое поле, то

заряд, если ничто ему не препятствует, начнет двигаться по силовым линиям. Если он двигался под каким-то углом к линиям поля, то путь его искривится в сторону противоположного знака. Степень искривления пути будет зависеть от скорости движущегося заряда и величины поля.



Заряды, попав в электрическое поле, двигаются в сторону противоположного знака

Рис. 15.

При свободном движении вдоль линии силового поля электроны движутся равномерно ускоренно. При свободном движении, например в вакууме, электроны приобретают большую скорость. С достаточной степенью приближения эту скорость можно вычислить из выражения

$$v = 600\sqrt{U}\ \textit{км/сек} = 6 \cdot 10^7 \sqrt{U}\ \textit{см/сек},$$

где U — разность потенциалов в вольтах, которую прошел электрон. Если, например, к аноду электронной лампы приложено напряжение 100 *в*, то $U = 100$ и, следовательно, электроны попадают на анод, разогнанные до скорости 6 000 *км/сек*.

Совершенно очевидно, что если электрон (или вообще заряд) попал в поле так, что ему приходится двигаться против поля (например, электрон имел движение в сторону отрицательного заряда), то движение его будет тормозиться.

У неподвижного заряда есть только электрическое поле, и он взаимодействует лишь с электрическим полем, которое приводит его в движение. Движущийся заряд (электрический ток) создает магнитное поле, линии которого охватывают движущийся заряд как бы кольцами. Если смотреть вслед движущемуся электрону, то направление магнитных силовых линий будет против часовой стрелки. Движущийся положительный заряд,

например протон, создает магнитное поле обратной направленности. Таким образом, положительные и отрицательные электрические заряды должны двигаться в противоположную сторону, чтобы возбудить магнитное поле одинаковой направленности.

Проводник, по которому течет ток, окружен кольцевыми силовыми линиями магнитного поля, направление которых соответствует только что сказанному. Если проводник свернуть в катушку, то создаваемое магнитное поле будет подобно полю магнита.

Неподвижный заряд не взаимодействует с постоянным магнитным полем. Но движущийся заряд, создающий свое магнитное поле, взаимодействует с внешним магнитным полем, кроме того случая, когда направление движения заряда совпадает с направлением линий магнитного поля. Если такого совпадения направлений нет, то магнитное поле отклоняет движущийся заряд. В том случае, когда заряд движется под прямым углом к линиям магнитного поля, он испытывает отклоняющее действие, направление которого перпендикулярно направлению движения заряда.

Физическая сущность электрического и магнитного полей пока не разгадана. По существующим представлениям, они являются одной из форм существования материи.

Управление движением зарядов

Электротехника использует как постоянный, так и переменный ток, но очень небольшой частоты — не свыше 50 *гц*. Сильные токи, большие мощности, малая частота, использование металлических проводов в качестве каналов для электрического тока — вот основные отличительные черты электротехники. Радиоэлектронике тоже приходится пользоваться токами, текущими по проводам, и малыми частотами, но основой радиоэлектроники является использование особенностей движения зарядов в вакууме, в газах и в полупроводниках. Ее характерной отличительной чертой является также применение очень высоких частот. Не менее характерно для нее и оперирование малыми, зачастую исключительно малыми количествами электрических зарядов и очень сложное и тонкое управление ими и их движением.

Электротехника наращивает мощности, перешла к счету на миллионы киловатт, она командует сразу огромными армиями зарядов. Радиоэлектроника все больше подбирается к отдельным атомам и молекулам, использует особенности электропроводности тончайших пленок, площадей соприкосновения разнородных материалов, внутренней структуры вещества и пр. Столь же характерно для нее использование электромагнитных колебаний и многообразных преобразований одного вида энергии в другой.

Электротехнику обычно безразлично, из чего «состоит» электрический ток, которым он пользуется, подобно тому как гидротехнику все равно, имеются ли молекулы тяжелой воды в той воде, которая крутит его турбины. Работники радиоэлектроники подчас должны следить за тем, чтобы на миллиарды атомов применяемого ими вещества было примеси не больше одного атома постороннего вещества, иначе их аппаратура работать не будет. Тут учет уже идет на атомы и чуть ли не на отдельные электроны. Вся радиоэлектронная аппаратура построена на точнейшем управлении малыми количествами зарядов.

Чем же можно пользоваться для управления зарядами?

Энергия движущегося заряда больше, чем энергия покоящегося. Поэтому, чтобы заставить его двигаться, надо сообщить ему дополнительную энергию. Это можно сделать двумя способами — воздействовав на него другой частицей или воздействовав на него силовым полем. Как мы знаем, магнитное поле не взаимодействует с покоящимся зарядом, поэтому остается только электрическое поле. Значит, заряд можно заставить двигаться в результате воздействия на него другой частицей или электрическим полем. После воздействия частицы заряд начнет двигаться равномерно и прямолинейно, а поле заставит его двигаться ускоренно. Если действие поля прекратится, то движение заряда станет прямолинейным и равномерным. При изменении знака поля заряд начнет тормозиться и через какое-то время, зависящее от скорости его движения и напряженности поля, остановится и начнет движение в обратном направлении.

Электрические частицы столь малы, что хотя в радиоэлектронике и приходится в большинстве случаев иметь

дело с чрезвычайно слабыми токами, число зарядов, образующих эти токи, огромно. В подтверждение этого можно привести такое сопоставление: микроампер — очень маленький ток, в радиоэлектронике не так-то часто приходится пользоваться токами меньшей величины. Но при токе в 1 *мка/сек* проходит $6{,}3 \cdot 10^{12}$ электронов. Волга — огромная полноводная река. Количество воды, которое она несет в своем русле, не бывает одинаковым из года в год и из месяца в месяц. Но в среднем в течение се-



Рис. 16.

кунды Волга вливает в Каспийское море в тысячу раз меньше капель воды, чем переносит электронов ток в 1 *мка*. Нужна тысяча таких рек, как Волга, чтобы число переносимых ими капель воды сравнялось с числом электронов, переносимых током в 1 *мка* (рис. 16).

Как можно управлять таким потоком зарядов? Это можно сделать тремя способами: увеличивая или уменьшая число движущихся частиц, изменяя скорость их движения и изменяя направление их движения. Изменять направление движения частиц можно в свою очередь двумя способами — можно изменять направление движения потока частиц в целом, но можно изменять направление движения отдельных частей потока неодинаково, можно воздействовать на поток так, чтобы он стал параллельным, сходящимся или расходящимся (фокусирование).

Эти виды управления электрическими зарядами часто называют «электронной оптикой» — электронной, потому что фактически всегда приходится оперировать потоками электронов, а оптикой, потому что это управление по

идее мало чем отличается от обычной оптики, имеющей дело со световыми лучами (рис. 17). В особенности это подобие заметно во всем относящемся к фокусированию.

Одним из способов управления является изменение числа электронов, вылетающих из их источника, что легко получить, меняя температуру катода, излучающего электроны. Этот способ практически неудобен из-за своей инерционности. Поэтому изменение нагрева источника электронов для регулировки величины их потока не

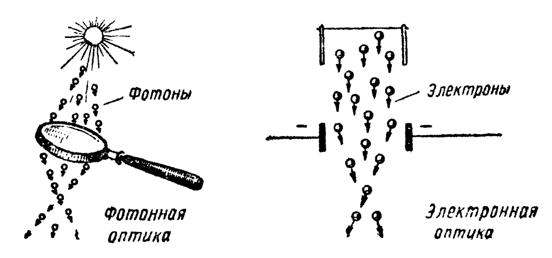


Рис. 17.

применяется. Наоборот, всегда применяются меры к тому, чтобы соблюдалось полное постоянство нагрева и, следовательно, неизменность величины получаемого потока электронов.

Другим способом является бомбардировка поверхности вещества электронами или фотонами и выбивание из нее вторичных электронов, число которых бывает больше, чем первичных. В отношении инерционности этот способ не вызывает возражений, но практически он используется довольно редко. Одна из наиболее часто встречающихся форм использования такого управления — так называемое электронное умножение. Поток электронов падает на пластину той или иной формы, имеющей положительный заряд. Число выбитых из нее электронов превышает число бомбардирующих. Выбитые электроны притягиваются (рис. 18) расположенной далее пластиной U_2, имеющей бóльший положительный заряд, чем первая пластина U_1. Поток электронов, падающий на пластину U_2, будет больше потока электронов, бомбардирующего пластину U_1, следовательно, поток увеличился. При этом между величинами обоих потоков есть полная пропорциональность. Удвоение первого вызовет и удвоение вто-

рого, причем изменение будет следовать без отставания во времени. Если увеличение потока нужно получить в бо́льших размерах, чем может дать одна ступень, то можно применить несколько ступеней, устроенных аналогично. Обычно применяют 4—6 ступеней умножения. Такого рода электронные умножители иногда применяются, например, в передающих телевизионных трубках.

Третьим способом является облучение вещества фотонами различной энергии: инфракрасных лучей, световых лучей, ультрафиолетовых лучей и т. д. Этот способ



Рис. 18.

применяется во многих приборах. Наиболее известные из них называются фотоэлементами. Ток, текущий через фотоэлемент, зависит от степени освещения находящегося в нем излучателя электронов. Чем сильнее освещение, тем больше поток излучаемых им электронов. Этот способ изменения величины электронного тока безынерционен. Именно фотоэлементы дали возможность озвучить кино. Фотоэлементы такого типа — с внешним фотоэффектом — применяются в автоматике и вообще для самых различных целей. Фотоэффект используется в телевизионных передающих трубках, в электронно-оптических преобразователях и др.

Для управления величиной электрического тока — величиной электронного потока внутри вещества применяется и другой вид фотоэффекта, а именно внутренний фотоэффект. Чем сильнее облучение вещества фотонами, тем больше электронов освобождается внутри вещества и тем больше их может принять участие в образовании электрического тока. Сильнее освещение — ток в нагрузочной цепи увеличится, слабее освещение — ток уменьшится. Но и у этого способа изменения величины электронного потока есть известная инерционность. При освещении вещества освобождение электронов из атомов происходит очень быстро, но обратный процесс — умень-

шение тока при ослаблении освещения — происходит не мгновенно (см. стр. 30), поэтому электронные приборы, в которых используется это явление — фотоэлементы с внутренним фотоэффектом и фотосопротивления — применяются только тогда, когда известное запаздывание срабатывания допустимо. Например, автомат, зажигающий фонари при наступлении темноты, может срабатывать с некоторым запозданием, расхождение на каких-нибудь полсекунды в данном случае не имеет значения.

Интенсивность потока электронов регулировать проще всего, изменяя величину напряжения электрода, к которому направляется поток. Допустим, что мы получаем электроны путем нагрева электрода K (электрод, излучающий электроны, обычно называют катодом). Электроны, находящиеся в глубине катода, разгоняются вследствие нагрева до нужной степени и вылетают в окружающее катод пространство. Посмотрим, что будет делаться дальше с вылетевшими электронами.

Электрон, вылетая, имеет небольшую скорость и при отсутствии электрического поля, побуждающего его двигаться дальше, будет снова притянут катодом, как капли струи фонтана возвращаются в бассейн. Дело в том, что как только электрон вылетит из катода, то катод окажется заряженным положительно, так как у одного из атомов уже не будет хватать электрона для уравновешивания положительного заряда ядра, поэтому катод будет притягивать электрон к себе, будет тормозить его. Вместе с тем впереди вылетевшего электрона будет много других электронов, вылетевших раньше. У них отрицательный заряд, и они отталкивают вылетевший электрон обратно к катоду. Таким образом, на вылетевший электрон начнут действовать две силы, стремящиеся вернуть его обратно к катоду.

Расстояние, на которое отлетит электрон от катода, зависит от его начальной скорости. Если она достаточно велика, то электрон отлетит на некоторое расстояние, причем какое-то количество электронов, вылетевших раньше, но имеющих меньшую скорость, окажутся уже между ним и катодом. Они будут нейтрализовать притягивающее действие катода. В конце концов где-то может оказаться, что действие электронов, находящихся дальше от катода, и действие катода и электронов, находящихся между ним и катодом, уравновесится, а запас ско-

рости вылетевшего электрона окажется исчерпанным. В общем вокруг катода образуется подобие электронного облачка, сохраняющего относительную стабильность, так как часть составляющих его электронов будет падать обратно на катод, но эта потеря будет возмещаться новыми партиями электронов, вылетающих из катода.

Теперь представим себе, что невдалеке от катода помещена пластина, на которую подан некоторый положительный заряд относительно катода. Между катодом и этой пластиной (рис. 19), которую называют анодом и

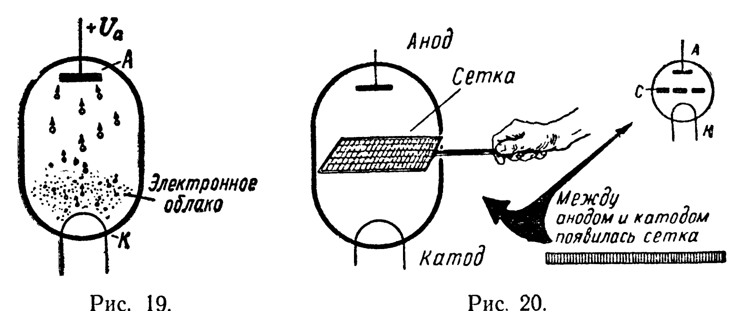


Рис. 19. Рис. 20.

обозначают буквой A, образуется электрическое поле, которое будет заставлять электроны двигаться от катода к аноду.

Если напряжение на аноде $U_а$ мало, то только наиболее быстрые электроны будут достигать анода. Менее быстрые не преодолеют отталкивающего действия электронного облачка и «завязнут» в нем или вернутся к катоду. По мере увеличения напряжения $U_а$ все большее количество электронов будет достигать анода, тем больше будет величина образуемого ими тока, носящего название анодного тока, а облачко будет «таять» — рассасываться. При некотором значении $U_а$ все электронное облачко исчезнет и все излучаемые катодом электроны будут достигать анода. Дальнейшее увеличение $U_а$ не будет сопровождаться увеличением анодного тока, установится «ток насыщения». (Для его увеличения надо было повысить электронную эмиссию, например, сделав больше нагрев катода.) Сказанное относится к чисто вольфрамовому катоду. У активированных катодов (стр. 28) ток насыщения не наступает.

Таким образом, изменять величину электронного потока можно легко путем изменения величины напряжения на электроде, собирающем электроны, — на аноде. Этот способ очень удобен и практически в большинстве случаев может считаться лишенным инерционности. Он широко используется в радиоэлектронной аппаратуре.

Однако есть лучший способ управления величиной электронного потока. Поместим между катодом *К* и анодом *А* (рис. 20) еще один электрод *С* с большим числом отверстий. Он, например, может быть выполнен в виде решетки (сетки) или параллельных металлических проволочек, расположенных более или менее близко друг к другу. Этот дополнительный электрод сам по себе не оказал бы большого действия на движение электронов, как бы малы ни были отверстия в нем. Ведь электрон так мал, что расстояние между проволочками сетки в 0,1 *мм* для электрона так же огромно, как расстояние между Землей и Луной для небольшого зернышка, которое раза в два меньше горошины. Но, находясь близко к катоду, этот электрод может быть прекрасным регулировщиком потока электронов, для чего на него надо подать небольшое напряжение относительно напряжения катода.

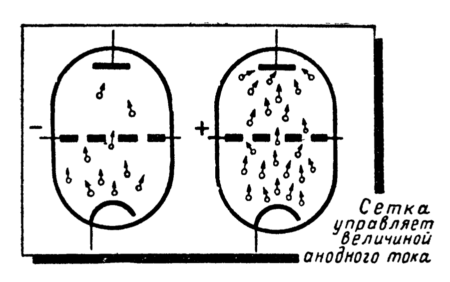


Рис. 21.

Этот дополнительный электрод-сетку мы будем обозначать буквой *С*. В том случае, когда его напряжение будет положительным относительно катода, сетка, находясь ближе к катоду, чем анод, будет помогать аноду притягивать к себе электроны. В результате электронный поток сильно увеличится. Если напряжение на сетке от-

рицательно, то она будет отталкивать электроны обратно к катоду (рис. 21), будет препятствовать им лететь к аноду, поэтому анодный ток уменьшится.

Изменяя только потенциал на сетке при постоянном напряжении на аноде, можно в очень широких пределах изменять ток между катодом и анодом. При достаточно большом отрицательном напряжении на сетке ток вовсе прекратится, потому что сетка не пропустит к аноду ни одного электрона. Чрезвычайно интересным и важным является то, что даже очень малое изменение потенциала сетки сильно сказывается на величине тока. В цепи анодного тока помещается нагрузочное сопротивление, на котором переменный анодный ток создает при этом соответствующее переменное напряжение, большее, чем напряжение, подведенное к сетке. Эта способность лампы усиливать и явилась одной из главнейших причин грандиозных успехов радиоэлектроники.

Из того, что было уже сказано, легко представить себе, как можно осуществить разделение потока электронов на части. Если мы просто поместим на пути электронного потока две пластины, заряженные положительно, то электронный поток разделится на две части. Величины этих частей будут зависеть от расстояния до пластин-анодов, от их размеров и от величины напряжения на них. Еще лучше, если на пути потока электронов поместить два анода A_1 и A_2 и две сетки C_1 и C_2. В этом случае электронный поток тоже будет разделен на две части, причем величиной каждой части можно будет очень точно управлять путем изменения потенциала на той или иной сетке.

Может возникнуть вопрос — а не ответвляется ли в цепь сетки часть тока?

Ответ на этот вопрос зависит от величины напряжения на сетке. Если напряжение на сетке отрицательно, то электроны будут от нее отталкиваться. Ни один из них не попадет на сетку, тока в цепи сетки не будет. При положительном напряжении на сетке некоторая небольшая часть электронов из общего потока может осесть на сетке и образовать в ее цепи ток. Но ток этот обычно бывает крайне мал. Ведь, во-первых, расстояния между проволочками сетки слишком велики (вспомните пример с расстоянием от Земли до Луны и с маленьким зернышком) и, во-вторых, напряжения на сетке положительного знака

бывают очень малы по сравнению с напряжением на аноде. Поэтому сетке трудно затормозить быстро летящий электрон и преодолеть притягивающее действие анода. Но в реальной аппаратуре на сетках, управляющих величиной электронного потока, бывает отрицательное напряжение, и ток в их цепи отсутствует. Это обстоятельство играет тоже исключительную роль. Управление электронным потоком происходит почти без затраты энергии. Такая особенность и дала возможность осуществлять при помощи электронных приборов усиление крайне слабых электрических импульсов.

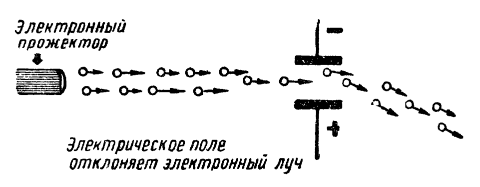


Рис. 22.

До сих пор мы рассматривали примеры, в которых движение электронов совпадало по направлению с линиями электрического поля, поэтому электронный поток не менял своего направления, изменялась только его величина. Но электрическое поле может быть образовано так, чтобы его линии располагались под углом к направлению летящих электронов, например перпендикулярно к нему.

В этом случае поле изменит направление движения электронов. Электроны, как отрицательно заряженные частицы, будут притягиваться к положительно заряженному электроду и отталкиваться от отрицательно заряженного электрода. Траектория полета электрона в этом случае будет зависеть от скорости движения электрона и величины напряжения на электродах, которые мы будем называть отклоняющими электродами (рис. 22). В практических конструкциях электронных приборов расстояние между отклоняющими электродами не меняется, и для получения нужного отклонения потока электронов изменяется напряжение на отклоняющих электродах. При любой скорости движения электронов можно подобрать такое напряжение на отклоняющих электродах, что элект-

роны изменят направление своего движения на нужный угол.

Для отклонения электронного потока можно воспользоваться и магнитным полем, с которым взаимодействуют движущиеся электроны (рис. 23). Изменять угол отклонения электронного потока очень легко уменьшением или увеличением магнитного поля, а это легко осуществить путем изменения величины тока подмагничивания в электромагнитах.

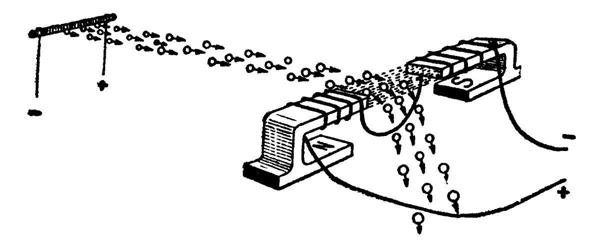


Рис. 23.

Отклонение электронных потоков применяется в радиоэлектронной аппаратуре очень часто. Примером могут служить телевизионные трубки, в которых электронный луч претерпевает отклонение и по горизонтали и по вертикали; бегая таким образом по экрану трубки, он вырисовывает нужные нам изображения.

Одним из видов управления электронным потоком является его фокусирование.

Фокусировать поток электронов можно при помощи электрического поля. Отрицательно заряженные электроды отталкивают электроны. Если пропустить поток электронов между двумя отрицательно заряженными пластинами-электродами, то поток будет сжиматься к центру, к своей осевой линии. Если отрицательно заряженный электрод сделать в форме кольца, то электронный поток будет сжиматься им в сходящийся луч круглого сечения. Подобрав нужной величины отрицательный потенциал на дополнительном «сжимающем» электроде и форму этого электрода, можно добиться, что электронный луч в определенном месте будет максимально сжат, например, до диаметра 0,1 *мм*, а дальше снова начнет расходиться. В этом случае будет полное подобие фоку-

сировки светового луча оптической линзой. Место схода луча «в точку» можно подбирать, изменяя величину потенциала на фокусирующем кольцевом электроде. Сидя перед экраном телевизора, мы это проделываем, вращая ручку с надписью «фокусировка».

Можно сфокусировать электронный поток магнитным полем. Если расходящийся электронный поток направить в магнитное поле, создаваемое катушкой, то электроны начинают двигаться в нем по спиральным путям, которые при нужном подборе данных сходятся в одной точке — фокусе. Подбор проще всего производится изменением величины магнитного поля, для чего подбирается сила тока в катушке.

Некоторого начального фокусирования электронного потока можно добиться формой излучающего электроны катода. При этом используется то обстоятельство, что электроны вылетают из излучающей поверхности под прямым углом к ней. Поэтому если излучающая поверхность — поверхность катода — будет иметь сферическую форму, то от нее получится расходящийся поток. Но если излучающей поверхности придать форму лунки, то она будет излучать сходящийся поток электронов.

На практике пользуются всеми этими способами. Например, телевизионные приемные трубки обычно имеют излучатели в виде лунки, чтобы сразу же получать в основном сходящийся пучок электронов, а для точной фокусировки пользуются и магнитным полем и электрическим полем. Для отклонения луча также пользуются как электрическим полем, так и магнитным. Например, в телевизионных трубках старого типа (для телевизоров КВН-49 и др.) применялись и отклонение и фокусирование магнитным полем. В последующем, после перехода на выпуск трубок с прямоугольным экраном, стали применять отклонение электрическим полем, а фокусирование — магнитным. Для отклонения используются две пары пластин: одна пара дает отклонение по горизонтали, а вторая пара — по вертикали. В телевизионных трубках первая пара отклоняющих пластин называется пластинами строчного отклонения, а вторая — кадрового отклонения. Подбором напряжения на обеих парах пластин можно нацелить электронный луч в любую точку экрана.

Способы отклонения потоков заряженных частиц, состоящих не из электронов, принципиально не отличаются

от рассмотренных. Разница может быть лишь в интенсивности поля, нужного для отклонения частиц в зависимости от их массы. Чем меньше масса частицы, тем меньшей интенсивности поле потребуется для ее отклонения на один и тот же угол. Этим, между прочим, часто пользуются для разделения потоков заряженных частиц разной массы. Например, в телевизионных трубках, кроме основного электронного потока, образуется еще ионный поток, состоящий из отрицательных ионов кислорода. Отрицательный ион кислорода — в ядре 8 протонов и 8 нейтронов — имеет массу, грубо говоря, в 30 тысяч раз превышающую массу электрона. Ионы кислорода не отклоняются теми полями, которые управляют потоком электронов, поэтому ионы все время бомбардируют одно и то же место экрана (в его центре), выжигают люминофор, и это приводит к возникновению темного пятна, которое так и называется ионным пятном. Пятно портит изображение.

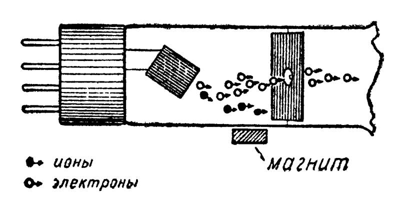


Рис. 24.

Для того чтобы закрыть ионам дорогу к экрану, на их пути ставят «ловушку». Она представляет собой диафрагму с маленьким отверстием. Нормально смешанный электронно-ионный луч не попадает в отверстие диафрагмы, и как электроны, так и ионы не достигают экрана. Но перед диафрагмой снаружи трубки помещают небольшой постоянный магнит, который отклоняет электронный луч. Магнит устанавливают так, чтобы электронный луч как раз попадал в отверстие диафрагмы и в дальнейшем использовался обычным образом. Тяжелые ионы магнитом не отклоняются, его поле для этого слишком слабо. Поэтому ионы попадают в диафрагму и здесь заканчивают свой путь (рис. 24).

Электрический ток в газах

Все особенности движения электрических зарядов, о которых рассказывалось в предыдущих разделах, относятся в основном к их движению в вакууме, т. е. в про-

странстве, из которого со всей возможной тщательностью удален воздух. О степени разрежения можно судить по таким цифрам. Нормальным атмосферным давлением считается давление, равное 760 *мм рт. ст.* В электронных приборах воздух разрежается до давления порядка 10^{-7} *мм рт. ст.*, т. е. разрежается примерно в десять миллиардов раз. Но и при таком разрежении в каждом кубическом сантиметре будет находиться примерно около ста миллионов атомов (до чего же мал атом!).

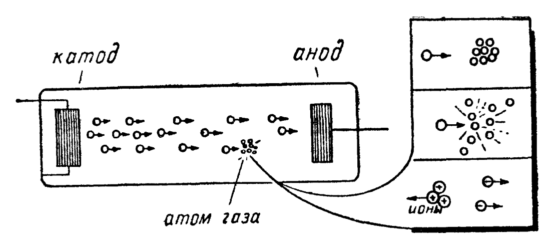


Рис. 25.

Такое разрежение нужно для того, чтобы электроны в своем полете от одного лампового электрода к другому не сталкивались с частицами воздуха. С этой точки зрения вакуум расценивается не величиной давления, а длиной свободного пробега электрона — расстоянием, которое электрон пролетает без столкновения с частицей газа. При разрежении в миллион раз длина свободного пробега составляет примерно 10 *см*. Это не так мало, но все же недостаточно для хорошей работы электронных ламп. При разрежении в 10 млрд. раз длина свободного пробега измеряется уже километрами. Это практически означает, что только один электрон из миллиона вылетевших из катода лампы имеет шанс столкнуться с частицей газа.

Чем же вредны эти столкновения?

Электроны, движущиеся в вакууме и разгоняемые большим напряжением, развивают высокую скорость, которая достигает нескольких тысяч километров в секунду. Сталкиваясь с частицами газа (атомами или молекулами), электроны ионизируют их, т. е. выбивают у них электроны (рис. 25). Частицы газа становятся положительными ионами. Поскольку они заряжены положительно, то они движутся навстречу электронному потоку, раз-

гоняются электрическим полем и ударяются о катод, имеющий относительно анода отрицательный заряд. Бомбардировка катода тяжелыми ионами вызывает его дополнительный нагрев, что увеличивает его эмиссию и укорачивает срок его службы. Если в данном электронном приборе есть сетка, обычно имеющая отрицательный заряд, то часть положительных ионов оседает на ней, образуя ток в ее цепи. В результате нормальная работа обычных вакуумных приборов будет нарушена. Однако повышение тока, вызываемое ионизацией, может быть сделано управляемым и использовано в отдельных случаях. Например, фотоэлементы, эмиссия электронов в которых происходит в результате освещения катода, дают, как правило, очень малый ток, который приходится значительно усиливать, а слишком большое усиление всегда связано с риском внесения искажений. Поэтому в некоторые фотоэлементы умышленно вводят газ, и электронная эмиссия, вызванная освещением фотокатода, ионизирует частицы газа, что равноценно увеличению тока, текущего через фотоэлемент. Электроны и положительные ионы текут в противоположных направлениях, но так как заряд их также противоположен, то все проявления их как электрического тока одинаковы. Таким образом, внешне дело обстоит так, как будто бы слабое освещение вызвало значительную эмиссию. Такие фотоэлементы так и называются газовыми.

Широкое применение находят газовые электронные приборы (называемые ионными) для выпрямления переменного тока. В газотронах, тиратронах и др. также используется явление ионизации газа.

Явление ионизации может возникнуть и без предварительной электронной эмиссии как зачинателя ионизации. Если на ионный прибор с двумя выведенными электродами, наполненный газом при небольшом давлении, будет подано напряжение, то произойдет вот что. В газе всегда есть некоторое количество ионов, образующихся вследствие попадания в атомы газа космических лучей. При подаче на электроды прибора достаточно большого напряжения ионы устремляются к электроду, заряженному противоположным знаком. Если давление газа невелико и, следовательно, длина свободного пробега достаточно большая, то ионы разгоняются до скоростей, при которых они могут в свою очередь ионизировать

другие атомы газа, выбивая из них электроны. Подбором напряжения на электродах можно установить стабильный режим работы прибора, при котором ионизация не будет ни возрастать, ни уменьшаться.

Столкновения частиц не всегда приводят к их ионизации. Некоторые атомы могут только возбудиться, т. е. один из электронов атома перескочит на более удаленную от ядра оболочку. Атом не находится долго в таком состоянии, электрон возвращается в свою оболочку, а излишек энергии излучается в виде фотона. Вследствие этого ионизация обычно сопровождается свечением газа.

Иногда это свечение представляет собой побочное явление, но часто оно используется. Например, всем известные неоновые, аргоновые и другие трубки, используемые для устройства реклам, представляют собой газонаполненные ионные приборы, работа которых основана на только что рассмотренной основе. Отметим, что газ неон дает красное свечение, аргон — синее, криптон — зеленое.

Электрический ток в полупроводниках

Замечательные свойства полупроводников и изготовленных из них полупроводниковых приборов в немалой степени способствовали тем блистательным успехам радиоэлектроники, свидетелями которых мы являемся. Эти свойства полупроводников объясняются особенностями их электрической проводимости.

Полупроводники известны давно. Они были названы полупроводниками потому, что в отношении электрической проводимости занимают некоторое среднее место между проводниками и изоляторами. Проводники хорошо проводят электрический ток, изоляторы его совсем не проводят, а полупроводники проводят, но плохо.

Такое промежуточное значение полупроводников не давало возможности использовать их в электротехнических приборах и устройствах. Для них были нужны или хорошие проводники, или полные изоляторы.

Непригодность для использования полупроводниковых материалов привела к тому, что они почти не изучались и их свойства долгое время оставались неизвестными. Одним из объяснений этого надо считать и то, что свойства полупроводниковых материалов ярко проявля-

ются тогда, когда они чрезвычайно чисты, т. е. освобождены от примесей, а получение полупроводников в чистом виде крайне трудно. Наконец, еще одной причиной, тоже очень важной, были недостаточные знания строения вещества и поэтому неумение использовать его особенности. Развитие физики прояснило особенности поведения полупроводников, а затем привело к использованию этих особенностей.

Хорошая проводимость металлов и вообще проводников объясняется наличием в них огромного количества свободных электронов, с которыми атомы проводников очень охотно расстаются. У изоляторов, наоборот, все электроны очень прочно держатся на своих оболочках и в материале нет зарядов, которые могли бы образовать ток.

Полупроводники в чистом виде тоже довольно прочно удерживают электроны на оболочках своих атомов, поэтому свободных электронов в них мало. Это означает, что их сопротивление велико — для образования большого тока нужно много зарядов, а их почти совсем нет.

Однако с повышением температуры, когда атомы вещества увеличивают амплитуду своих колебаний, электроны легче отрываются от атомов и начинают принимать участие в создании тока проводимости. В итоге сопротивление полупроводников уменьшается. Это явление можно характеризовать такими примерными цифрами. Металлы в среднем увеличивают свое сопротивление на 0,3% при повышении температуры на 1°. Увеличение сопротивления происходит потому, что электронам становится труднее «протискиваться» между атомами вещества, увеличившими размах своих колебаний. У полупроводников сопротивление при нагревании, наоборот, уменьшается. Увеличение размаха колебаний атомов, конечно, и здесь затрудняет движение электронов, но зато электронов становится значительно больше, и это увеличение количества свободных электронов перекрывает затруднения в их движении. В результате сопротивление полупроводников при нагреве на 1° уменьшается на 3—6%, при нагреве на 10° — примерно на 75%, а при повышении температуры на 100° оно уменьшается иногда даже в 50 раз. Есть полупроводниковые керамики, изменение сопротивления которых при нагреве превышает указанные пределы в десятки раз.

Величину проводимости полупроводников можно очень значительно изменять добавлением малого количества примеси других полупроводников. Чтобы должным образом понять, почему это происходит, надо познакомиться с механизмом проводимости полупроводников.

У полупроводников бывает два вида проводимости — электронная и дырочная.

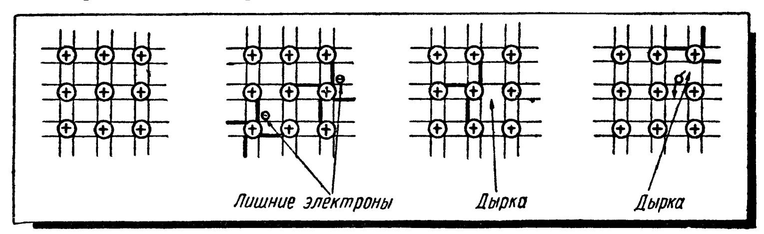


Рис. 26.

Электронная проводимость, по существу, мало чем отличается от проводимости проводников. Носителями тока являются электроны, оторвавшиеся от своих атомов. Чтобы облегчить отрыв электронов, к полупроводнику примешивают небольшое количество другого полупроводника, руководствуясь следующим.

Объемную кристаллическую решетку полупроводникового материала можно условно изобразить так, как показано на рис. 26. Здесь знаком «+» обозначены положительно заряженные ядра атомов полупроводника, а знаком «—» — электроны. У этих атомов на внешней оболочке есть четыре валентных электрона, при помощи которых осуществляется связь с соседними атомами. Все валентные электроны таким образом связаны. К такому полупроводнику добавляется примесь, атомы которой имеют на один валентный электрон больше — в данном случае пять электронов. Четыре из этих валентных электронов образуют связь с соседними атомами основного полупроводника, а один останется не связанным. Такой электрон сравнительно легко отрывается от атома, например при нагревании, небольшим электрическим полем и т. п. и способен образовать электрический ток. Такие примесные атомы изображены на рисунке жирными линиями.

Поскольку в таких случаях проводимость образуется электронами, заряд которых отрицателен, то подобная

проводимость получила название электронной и обозначается буквой *n* (от слова негатив — отрицательный). Для указанной цели к наиболее распространенным полупроводниковым материалам германию и кремнию добавляются чаще всего сурьма, мышьяк или фосфор, а также многие окислы металлов (окись цинка и др.).

Но можно поступить иначе. К такому же самому полупроводнику, который в нашем примере имеет четыре валентных электрона, можно добавить небольшое количество полупроводника, у атомов которого три валентных электрона. В этом случае в кристаллической решетке полупроводника одна связь останется незаполненной. Такую незаполненную связь назвали «дыркой». Дырка стремится при первом удобном случае захватить «чужой» электрон и заполнить недостающую связь. Таким удобным случаем может быть опять-таки нагревание, освещение, приложение электрического поля. Если дырка вырвет электрон из атома основного полупроводника, то он превратится в положительный ион, а в одной его связи образуется дырка. Эта дырка в свою очередь постарается вырвать электрон из соседней связи. Заполнится эта дырка, но рядом, откуда выхвачен электрон, образуется новая дырка и т. д. (рис. 27).

Таким образом, дырка будет как бы двигаться. В электрическом отношении дырка равноценна положительному заряду. Поэтому проводимость такого рода называют дырочной и обозначают буквой *p*, что значит позитив — положительный. При подведении к полупроводнику электрического поля перепрыгивающие из дырки в дырку электроны будут в общем сноситься в сторону положительного полюса, а дырки будут смещаться в сторону отрицательного полюса, как это и следует положительным зарядам.

Такого рода проводимость получила название дырочной, а ток — дырочного тока. Для придания германию и кремнию дырочной проводимости к ним примешиваются индий, бор, алюминий или некоторые окислы металлов.

Возможно, что на рисунке схемы кристаллической решетки несколько трудно представить себе движение дырки. Поэтому рядом приводится другой рисунок, на котором этот процесс выглядит понятнее.

Итак, полупроводники бывают двух типов: с электронной проводимостью и с дырочной проводимостью. Ве-

личина проводимости у них зависит от температуры, а у некоторых, кроме того, и от степени освещенности.

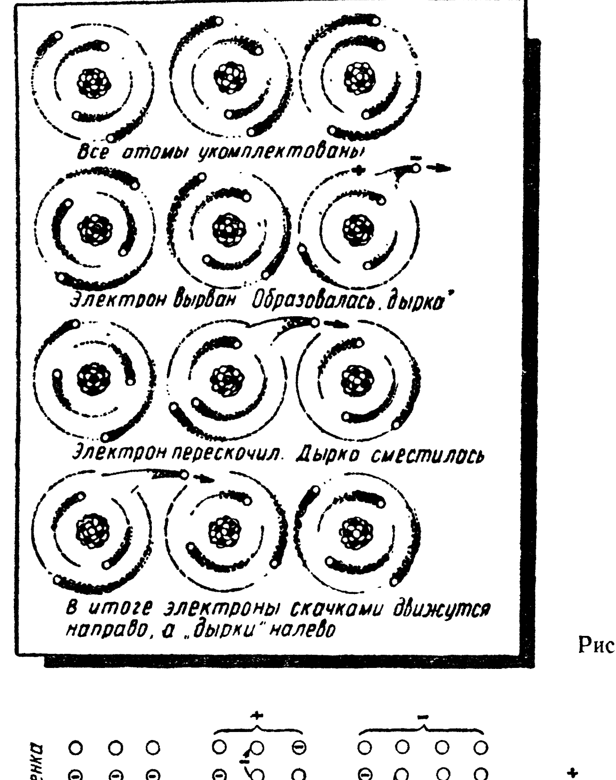


Рис. 27.

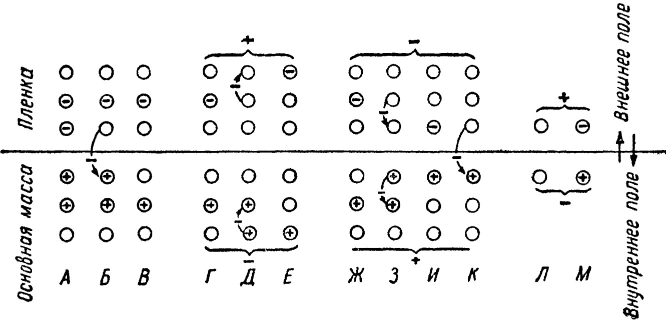


Рис. 28.

Зависимость величины проводимости от температуры очень велика. Зависимость от освещения представляется очень ценной, так как позволяет просто решать многие задачи.

Но этими отличиями проводимость полупроводников не ограничивается. Их важнейшей особенностью, которой полупроводники обязаны большей частью своей доброй славы, является способность образовать так называемый запирающий слой.

Существует много способов пояснить механизм образования запирающего слоя и его работу. Мы приведем здесь один из самых простых и доходчивых, основанный на только что очерченных особенностях электронной и дырочной проводимости полупроводников (рис. 28).

Предположим, что у нас имеется кристалл полупроводника, у которого дырочная проводимость, а на поверхности которого образована тонкая пленка, имеющая электронную проводимость. Это значит, что в основной массе полупроводника есть атомы, лишенные одного электрона — дырки, а в пленке есть атомы, легко захватывающие лишний электрон. Первые мы будем обозначать кружками со знаком + (плюс), а вторые — кружками со знаком — (минус). Для большей наглядности на рис. 28 показаны тонкие «столбики», так сказать, разрезы полупроводника с пленкой.

Столбик *А* представляет собой начальный момент после образования пленки. У двух прилегающих к пленке атомов основного полупроводника недостает по электрону. Это — дырки, поэтому они обозначены знаком + (плюс). У двух атомов пленки, прилегающих к основной массе, есть лишние электроны, поэтому они обозначены знаком — (минус). Полностью укомплектованные связи или атомы не имеют обозначения, они нейтральны.

После образования пленки наружный атом основной массы, имеющий положительный заряд, притянет к себе лишний электрон из прилегающего слоя пленки (столбик *Б*). В результате оба атома станут нейтральными. Как видим, в слое соприкосновения в пленке и основной массе находятся нейтральные атомы, и нет причин для образования свободных электронов (столбик *В*).

Подведем теперь к полупроводнику напряжение плюсом к пленке, а минусом к массе, как показано знаками + и — на рисунке. Электрическое поле будет способствовать движению зарядов. Электрон (—) переместился в пленке в сторону плюса, а дырка второго слоя основной массы захватит электрон из более удаленного атома. Он нейтрализуется, а дырка как бы переместится

глубже в толщу массы, в сторону отрицательного полюса приложенного напряжения (столбик D). В результате уже два слоя атомов в месте соприкосновения пленки с массой станут нейтральными. Общий слой нейтральных атомов стал толще, носителей тока в них нет, ток проходить через поверхность соприкосновения пленки с массой не может — в поверхности их раздела образовался запирающий слой. Следовательно, при подведении к полупроводнику напряжения указанной полярности (плюс к «электронной пленке» и минус к «дырочному полупроводнику») образуется запирающий слой, препятствующий образованию тока.

Если приложить напряжение обратной полярности, то начнется движение электронов и дырок в противоположном направлении, нежели в только что рассмотренном примере (столбик *З*). Электроны последовательно перескакивают от атома к атому (столбики *З* и *И*), и в конце концов рядом окажутся атом с лишним электроном в пленке и дырка в основной массе (столбик *И*) и электрон перескочит от первого ко второму, что означает прохождение через поверхность соприкосновения пленки и массы тока. Значит, при такой полярности подведенного напряжения ток через полупроводник проходить может.

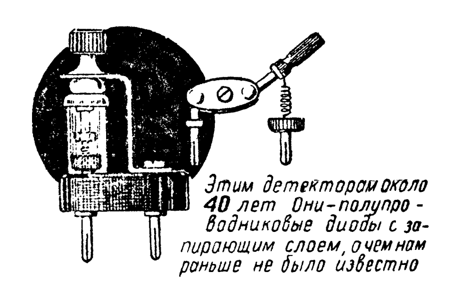


Рис. 29.

Мы видим, что запирающий слой пропускает ток в одном направлении и не пропускает его в другом. Это свойство полупроводников ставит их в особые условия и дает возможность чрезвычайно разнообразно использовать их. Сравнительно очень мало полупроводниковых приборов, в которых не использован запирающий слой. Общеизвестные транзисторы, работающие вместо электронных ламп в портативных радиоприемниках, солнечные батареи, питающие аппаратуру искусственных спутников и карманные радиоприемники, фотографические экспонометры и т. п. — все эти полупроводниковые устройства работают благодаря образованию в них запирающего

слоя. Интересно то, что выгодами запирающего слоя научились пользоваться тогда, когда о его существовании не имели никакого представления. Кристаллические детекторы (рис. 29), которые применялись первые десятки лет после изобретения радио, представляли собой полупроводник, на поверхности которого образовывалась пленка с другой проводимостью и вследствие этого между пленкой и телом кристалла создавался запирающий слой, обладавший односторонней проводимостью. Именно поэтому и происходило детектирование радиосигналов. Случайно образованная пленка была плоха, неоднородна, непрочна. Поэтому детекторы работали неустойчиво. Их вытеснили ламповые детекторы. Но теперь, когда принципы работы полупроводников выяснены и производство их налажено, кристаллические детекторы опять вытесняют лампу и занимают свое старое место в радиоприемниках.

Мы видели, что свойства электронной или дырочной проводимости могут быть приданы полупроводниковым материалам искусственно путем примешивания к ним небольшого количества примеси другого материала, имеющего на наружной оболочке нужное количество валентных электронов. Работа полупроводниковых приборов в сильнейшей степени зависит от чистоты материала как основного полупроводника, так и примешиваемого к нему для придания нужной проводимости. Очистка материалов должна быть такой, о какой раньше и не мечтали. Уверенная и полноценная работа полупроводникового прибора обеспечивается лишь тогда, когда на 1 млрд., а иногда и на 10 млрд. атомов основного материала будет не больше одного атома случайной примеси посторонних веществ. Совсем недавно подобную степень очистки не только нельзя было осуществить, но невозможно было и оценить, потому что определение того, сколько посторонних атомов — один или два — приходится на 10 млрд. «своих» атомов, выходило за пределы возможностей известных способов анализа материалов.

Минимально пригодной степенью очистки теперь считается такая, которая характеризуется числом «девять девяток» — 99,9999999. Это значит, что в каждых 100 *г* окончательного материала содержится 99,9999999 *г* основного материала и лишь 0,0000001 *г* нежелательных примесей. Определить такое исчезающе малое количе-

ство примеси можно только методами люминесцентного анализа или при помощи масс-спектрометров.

Образование в полупроводниках запирающего слоя позволяет создавать интереснейшие приборы, дающие возможность прямого преобразования тепла и, в частности, солнечного света в электрическую энергию. Под воздействием тепла и света в полупроводнике появляются свободные электрические заряды — электроны, которые движутся во все стороны. Они проходят через запирающий слой в проводящем направлении, но в обратном направлении пройти не могут и поэтому сосредоточиваются

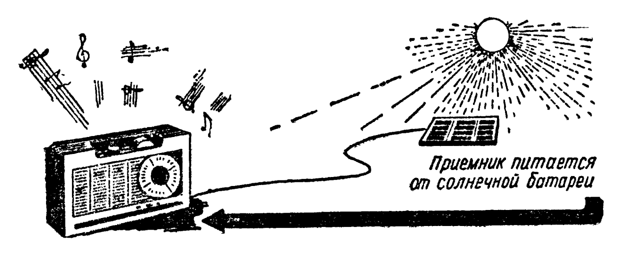


Рис. 30.

по одну его сторону. А сосредоточение одноименных электрических зарядов в одном месте создает разность напряжений, которая может быть использована для получения электрического тока. Так, селеновые или кремниевые элементы дают электрический ток за счет, например, энергии освещающего их Солнца (рис. 30). Они как нельзя лучше подходят для применения на космических кораблях.

Электрические и электромагнитные колебания

Электрические колебания. Электрический ток в проводниках осуществляется свободными электронами. Электроны хаотически движутся во всех направлениях (рис. 31). Скорость движения отдельных электронов может быть различна, она обусловлена температурой данного проводника. Никакого предпочтительного направления этого движения нет, распределение электронов в объеме тела равномерно; поэтому во внешнем пространстве не возникает ни электрического, ни магнитного поля.

Если к проводнику приложено напряжение, то в нем возникает электрическое поле, которое заставляет заряды двигаться в определенную сторону, определяемую их знаком. Но это не значит, что все свободные электроны будут двигаться в сторону, обусловленную полем (рис. 32). Поле сообщит им некоторое ускорение, величина которого зависит от напряженности поля.

Если направление движения электрона до возникновения поля совпадает с направлением поля, то его движение ускорится. Если он двигался раньше в обратном на-

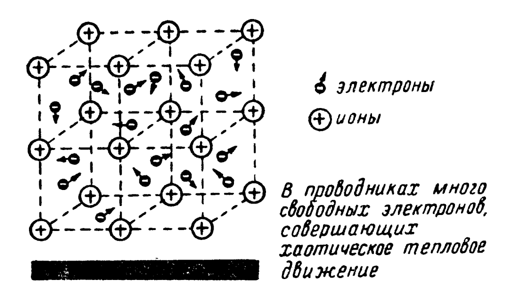


Рис. 31.

правлении, то или уменьшится его скорость, или он начнет двигаться в сторону поля. Электроны, двигавшиеся под углом к направлению поля, будут сносится в сторону действия поля, и их движение направится по некоторой равнодействующей.

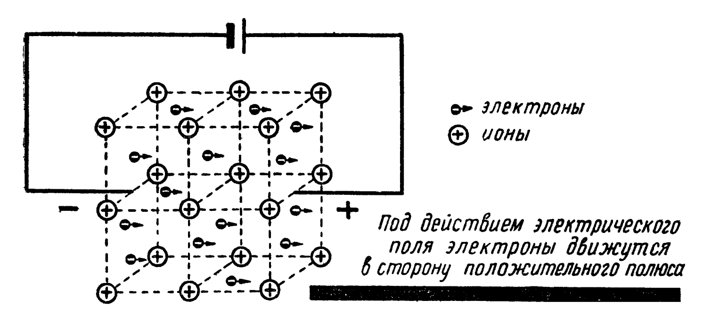


Рис. 32.

При подведении к проводнику постоянного напряжения передвижение электронов происходит все время в од-

ну и ту же сторону. Во внешнем пространстве такого проводника с током есть постоянное электрическое поле и постоянное магнитное поле, созданные движущимися электронами.

Но к проводнику может быть подведено не постоянное напряжение, а переменное, изменяющее определенное число раз в секунду свой знак. В соответствии с этим переменным напряжением электроны будут двигаться то в одну, то в другую сторону, они будут в идеальном случае колебаться в одну и в другую сторону около среднего положения. Имевшиеся ранее скорости и столкновения могут исказить картину в отношении отдельных электронов, но общего характера колебательного движения электронов это не изменит. В промышленности применяется такой ток — переменный ток малой частоты, чаще всего 50 *гц* — ток 50 раз в секунду течет в одном направлении и столько же раз — в обратном направлении.

Переменный ток возникает в генераторах, где провода якорных обмоток пересекают магнитное поле то одного направления, то другого, а мы знаем, что движущийся заряд при вхождении в магнитное поле изменяет направление своего движения. Естественно, что ничего не меняется при обратном положении, если на неподвижный или движущийся заряд воздействует движущееся магнитное поле. Таким образом, вызвать переменный ток может как переменное электрическое поле, так и переменное магнитное поле. Возникающий при этом ток называют переменным током.

Величина постоянного тока в цепи зависит от величины действующего напряжения и сопротивления цепи, определяемого материалом цепи, площадью его поперечного сечения и длиной. Если ток переменный, то для его величины имеет еще значение наличие в цепи индуктивности и емкости, причем при определенных их значениях величина тока достигает наибольшей величины. Это явление называется резонансом, а происходящее при этом движение зарядов называют электрическими колебаниями.

Наиболее наглядно проследить явления резонанса и электрические колебания можно в так называемом колебательном контуре.

Колебательный контур состоит из катушки индуктивности L и конденсатора C (рис. 33). Предположим, что в

какой-то момент времени конденсатор заряжен так, что его верхняя на рисунке пластина имеет отрицательный заряд, а нижняя — положительный. Это значит, что на верхней пластине образовался избыток электронов, а на нижней пластине их недостает. Такое положение вследствие подвижности зарядов сохраняться не может, и электроны немедленно начнут перемещаться с верхней пластины в нижнюю, чтобы уравнять их заряд.

Если бы пластины конденсатора были соединены прямым коротким проводом, то выравнивание зарядов прои-

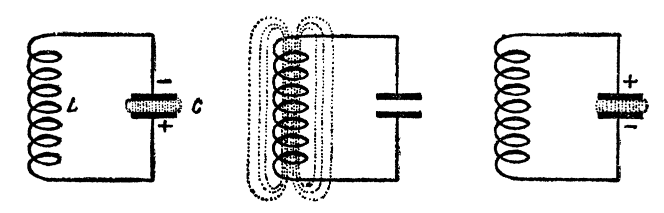


Рис. 33.

зошло бы практически мгновенно. Но в колебательном контуре на пути электронов находится катушка, обладающая индуктивностью. Вокруг катушки возникает магнитное поле, на создание которого расходуется часть энергии движущихся электронов. Ток в катушке будет нарастать до полного разряда конденсатора, в момент разряда величина тока и поля вокруг катушки достигнут наибольшего значения. Поскольку конденсатор разряжен и распределение электронов стало равномерным, то ток в контуре должен был бы прекратиться. Но этого не произойдет. Магнитное поле, образовавшееся вокруг катушки, начнет сворачиваться, при этом его силовые линии будут пересекать витки катушки, а при этом, как известно, возникает электрический ток такого же направления, какое было у тока, вызвавшего появление этого поля. Другими словами, стягивающееся поле будет заставлять электроны продолжать движение с верхней пластины конденсатора в его нижнюю пластину. При этом уже на нижней пластине начнет создаваться избыток электронов, а на верхней — их нехватка.

Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока магнитное поле не закончит свертывание и не исчезнет.

В этот момент на нижней пластине будет наибольший избыток электронов по сравнению с верхней пластиной. Если бы электроны при своем движении с одной пластины на другую не встречали никакого сопротивления, на преодоление которого надо затрачивать энергию, то на нижней пластине возник бы заряд такой же величины, какой был на верхней пластине, — свертывание магнитного поля «перегнало» бы такое же количество электронов, как и его развертывание.

Но в действительности не вся энергия электронов затрачивается на образование магнитного поля. Электроны, двигаясь в проводах, испытывают столкновения с частицами металла и отдают им часть своей энергии, нагревая металл. Часть энергии электронов переходит в тепло. Поэтому заряд нижней пластины будет несколько меньше первоначального заряда верхней пластины.

После того как нижняя пластина зарядится до наибольшей величины, магнитное поле исчезнет и процесс протекания заряда с пластины на пластину конденсатора повторится, но электроны будут переходить с нижней пластины на верхнюю. Если бы при перезаряде конденсатора не было потерь, процесс повторялся бы бесконечно долго. Но на преодоление потерь расходуется энергия электронов и колебания постепенно затухают. Чем больше потери, тем скорее происходит затухание колебаний. Если колебание зарядов в контуре изобразить в виде кривой, то ее амплитуда раз от разу будет уменьшаться.

Электрические колебания в контуре можно уподобить любым другим колебаниям, например маятника. Если маятник толкнуть, то он начнет колебаться, но сопротивление воздуха и трение в точке подвеса будут при каждом колебании поглощать часть энергии, поэтому амплитуда колебаний будет с каждым качанием уменьшаться и в конце концов колебания совсем прекратятся. Но размах колебаний можно поддерживать постоянным. Для этого надо каждый раз слегка подталкивать маятник.

Точно так же можно поддерживать и электрические колебания, вводя в контур каждый раз при каждом колебании дополнительную энергию в таком количестве, какое ее расходуется на преодоление потерь. Тогда колебания перестанут затухать и станут незатухающими.

Время, в течение которого происходят разряд и перезаряд конденсатора контура, зависит от величины ин-

дуктивности катушки и емкости конденсатора. Это время называется периодом колебания; число периодов в секунду называется частотой колебаний или частотой тока. Частоту можно изменять. Для этого надо менять величину индуктивности катушки или емкости конденсатора (или обе эти величины вместе). Чаще предпочитают изменять емкость конденсатора, делая емкость его переменной.

Чем больше индуктивность катушки и емкость конденсатора, тем меньше частота колебаний и тем дольше будут перетекать заряды с одной пластины конденсатора на другую. С уменьшением числа витков катушки и емкости конденсатора частота увеличивается.

Частоту колебаний колебательного контура подсчитывают по основной радиотехнической формуле (очень похожей на формулу для подсчета колебаний маятника):

$$\text{частота } F = \frac{159}{\sqrt{LC}},$$

где F — в герцах, индуктивность L — в генри и емкость C — в микрофарадах.

$$\text{длина волны } \lambda = 1{,}88\sqrt{LC},$$

где λ — в метрах, индуктивность L — в микрогенри и емкость C — в пикофарадах.

Если колебательный контур будет находиться в схеме генераторной лампы, то подсчитанная таким образом частота будет частотой передатчика; в приемном устройстве это будет частотой, на которую настроен контур приемника. Для связи между передатчиком и приемником частоты их должны быть настроены в резонанс. Делать это удобнее в приемнике, подстраивая его на слух или по какому-нибудь индикатору. Подстройка состоит в изменении в известных пределах индуктивности или емкости контура (рис. 34).

Надо учесть, что индуктивностью и емкостью обладают не только катушки и конденсаторы, но и любая деталь, любой отрезок провода. Между отдельными точками провода есть емкость, а у всякого провода есть индуктивность. Когда происходит разряд емкости провода, то по нему течет ток, вследствие чего вокруг провода возникает магнитное поле. По окончании разряда это поле

свертывается и его линии пересекают провод, возбуждая в нем ток, который перезаряжает его емкость, т. е. повторяется такой же колебательный процесс, как и в контуре. Разница бывает обычно лишь в частоте, так как индуктивность и емкость небольших отрезков провода мала, поэтому частота колебаний будет велика. По мере развития техники частота применяемых электрических колебаний все возрастает и доходит до таких величин, когда индуктивность каждого кусочка провода начинает играть заметную роль, а емкость между двумя проводами или деталями может нарушить правильную работу аппаратуры.

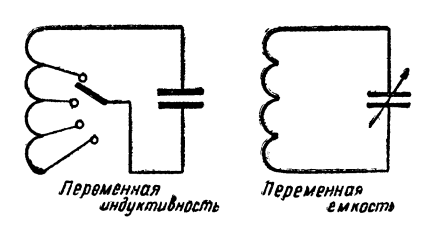


Рис. 34.

Колебательные контуры играют в радиотехнике весьма большую роль. Резонансные свойства колебательных контуров всех видов являются одним из краеугольных камней, на которых зиждется радиотехника.

Электромагнитные колебания. Вокруг колебательных контуров, в особенности вокруг проводов открытого контура, циркулируют и электрическое и магнитное поля. В определенных условиях величины и направления этих полей делаются согласованными (магнитное поле составляет прямой угол с электрическим полем). В этих условиях поля образуют электромагнитные волны, распространяющиеся в пространство. В электромагнитной волне напряженности электрического и магнитного полей направлены под прямым углом друг к другу и к направлению распространения; скорость распространения такой волны равна *с*, т. е. скорости света, или в круглых цифрах 300 000 *км/сек*.

Если движущееся электромагнитное поле встречает на своем пути проводник, то под воздействием силовых линий поля свободные электроны, находящиеся в проводнике, придут в движение. Движение это будет управляться приходящим полем, поэтому в проводнике возникнет электрический ток, в точности повторяющий тот, который вызвал возникновение электромагнитных волн, т. е.

у него будет та же самая частота и все другие особенности, которые могут быть. Электромагнитные волны несут с собой энергию, отданную им электронами, двигающимися в передающей антенне. При удалении от передатчика эта энергия будет ослабевать, так как она распределяется на все большей сфере; так же ослабевает свет или звук.

Можно несколько увеличить возможность передачи или приема в определенном направлении, применяя направленные антенны. Такие антенны, подобно прожектору, излучают или принимают преимущественно в одном направлении. Направленная антенна должна по своим размерам заметно превышать рабочую длину волны. Для волн коротких, например метровой, дециметровой или сантиметровой длины, конструктивно и практически удобно строить направленные антенны. Для более длинных волн антенна получается слишком большой и конструктивно нецелесообразной, в особенности когда она должна иметь возможность поворачиваться (менять направление передачи или приема).

Распространение электромагнитных волн

В настоящее время для связи применяются радиоволны длиною от нескольких километров до долей сантиметра. Используемые волны обычно делят на участки — диапазоны, объединяющие волны с примерно одинаковыми физическими свойствами, или участок с перекрытием 1 : 10. Надо иметь в виду, что в настоящее время вместо длины волны часто называется частота колебаний, на которых ведется передача.

Волновый диапазона	Волновое наименование	Частотный диапазон
От 700 *м* и длиннее	Длинные волны	428,6 *кгц* и меньще
600 *м*	Морская аварийная волна	500 *кгц*
От 180 до 570 *м*	Средние волны	1 666—526 *кгц*
От 10 до 100 *м*	Короткие волны	30— 3 *Мгц*
От 1 до 10 *м*	Ультракороткие волны	300— 30 »
От 1 до 10 *дм*	Дециметровые волны	3 000—300 »
От 1 до 10 *см*	Сантиметровые волны	30 000—3 000 »
От 1 до 10 *мм*	Миллиметровые волны	300 000—30 000 »

Чтобы понять особенности распространения радиоволн различной длины, надо вспомнить, во-первых, то, что Земля представляет собой шар, и, во-вторых, что в земной атмосфере на высоте примерно от 60 до 500—600 *км* находятся слои так называемой ионосферы. Ионосфера представляет собой ионизированный газ. Эти верхние слои атмосферы поглощают значительную часть ультрафиолетового излучения Солнца, не допуская его до Земли. Фотоны ультрафиолетового излучения и ионизируют газ атмосферы, т. е. выбивают из атомов электроны. Таким образом, ионосфера представляет собой смесь электронов и ионов и обладает проводящими свойствами, так как и электроны и ионы являются электрическими зарядами, могущими передвигаться.

Ионосфера не остается постоянной. Ее характер зависит от многих причин; одной из главнейших является время суток — вследствие суточного вращения Земли определенная часть ионосферы попадает в затененный участок, где ионизация резко уменьшается. Степень ионизации зависит также от интенсивности солнечной деятельности и др. В ионизированной атмосфере скорость распространения радиоволн меньше, чем в неионизированной. При этом степень ионизации разных слоев неодинакова, поэтому и скорость движения в них радиоволн тоже неодинакова, что и вызывает преломление радиоволн. Это преломление таково, что путь радиоволны, попавшей в ионосферу, искривляется и поворачивается ионосферой снова к земной поверхности. Однако изменения направления пути радиоволн ионосферой неодинаковы для волн разной длины.

Длинные волны сравнительно хорошо огибают кривизну земной поверхности, поглощение их атмосферой и земной поверхностью относительно невелико. Длинные волны при достаточной мощности передатчика уверенно принимаются на довольно большом расстоянии, например на расстоянии 1 000—2 000 *км*, причем разница в силе приема ночью и днем, летом и зимой, а также в хорошую или плохую погоду не так велика (рис. 35).

На заре развития радиовещания на эти передачи был предоставлен участок длинных волн от 700 до 2 000 *м*, что соответствует частотам от 428 до 150 *кгц*, иначе говоря, полосе частот 428—150 = 278 *кгц*. Обычно радиовещательной станции необходима полоса частот в 9 *кгц*.

Это означает, что во всем длинноволновом диапазоне можно уместить только около 30 (278 : 9) передающих станций. Телевидение, например, требующее на одну программу полосу частот в 6 *Мгц*, на длинных волнах вообще нельзя передавать.

Волна в 600 *м* сохранена только для передачи сигнала бедствия кораблями. Она распространяется как длинная волна по поверхности земли (моря) и всегда свободна от помех со стороны других передатчиков.

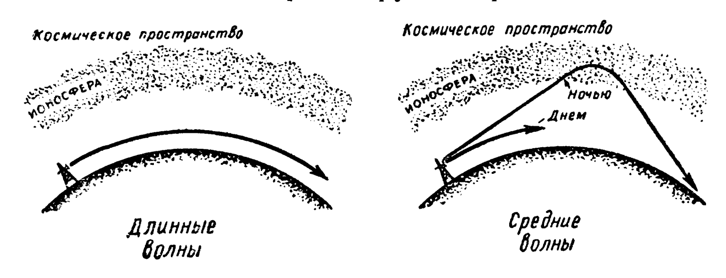


Рис. 35.

Распространение в диапазоне средних волн сильно зависит от времени года, времени суток, погоды и некоторых других причин. Средние волны не так хорошо, как длинные, огибают кривизну земной поверхности и испытывают большее поглощение. Поэтому те волны, которые направились от передающей станции вдоль земной поверхности (их называют поверхностным лучом), довольно скоро затухают и ослабевают. Прием их в среднем возможен на расстоянии всего лишь немногих сотен километров, а лучи, направленные вверх, днем поглощаются ионосферой. Но ночью или, вернее, с наступлением темноты распространение их изменяется. Пространственный луч станции — тот, который направляется вверх, в темные часы суток ионосферой не поглощается, а отклоняется вниз и попадает на земную поверхность на большом расстоянии от радиостанции — до нескольких тысяч километров. Поэтому средневолновые станции слышны днем только вблизи, а ночью далеко. Кроме того, на их прием влияют время года (зимой лучше, чем летом), погода и пр.

Средневолновый диапазон охватывает полосу частот от 1 666 до 526 *кгц* и, следовательно, вмещает примерно

120 каналов по 9 *кгц*. Это дает возможность разместить на средних волнах значительно больше станций, чем на длинных, однако даже и здесь полоса мала даже для одной телевизионной передачи.

Короткие волны, распространяющиеся вдоль земной поверхности, очень быстро затухают, а кривизну земной поверхности они не огибают, поэтому поверхностный луч обычно может быть принят лишь на расстоянии 20—40 *км*. Пространственный луч преломляется ионосферой и направляется к земной поверхности, отразившись от

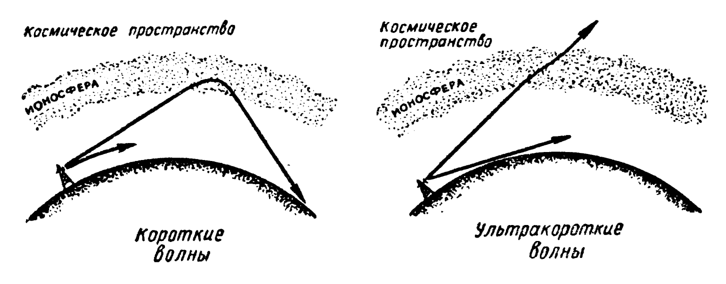


Рис. 36.

которой он может в дальнейшем движении снова достичь ионосферного слоя, снова попасть на земную поверхность и т. д. В промежутках между районами хорошего приема могут быть «мертвые» зоны, в которых приема нет, несмотря на то что они ближе к передатчику (рис. 36). Район, в котором отраженный луч может быть принят, зависит от степени преломления волны, а это преломление неодинаково для волн разной длины в пределах коротковолнового диапазона и для различных часов суток и времени года, а также состояния погоды, магнитных возмущений и пр. Есть волны дневные — например 13, 16, 19 и 25 *м*, есть вечерние — 31, 42 и 49 *м* и пр. Передающие станции, чтобы быть принятыми на большом расстоянии на коротких волнах, вынуждены применять в различные часы волны разной длины.

Ультракороткие (метровые) волны почти совсем не огибают кривизну земной поверхности и распространяются строго прямолинейно, подобно свету. Поэтому расстояние их уверенного приема определяется в основном дальностью видимого (оптического) горизонта. При вы-

сокой антенне дальность действия может достигать 100—150 *км*. Большая полоса частот этого диапазона (30—300 *Мгц*) используется для передачи телевизионных программ, требующих каждая полосы частот в 6 *Мгц*.

Большая частотная полоса диапазона и то обстоятельство, что ультракоротковолновые станции не создают друг другу помех на большом расстоянии, позволяют использовать их также для многочисленных служебных целей и для радиолокации (см. дальше). Волны мет-

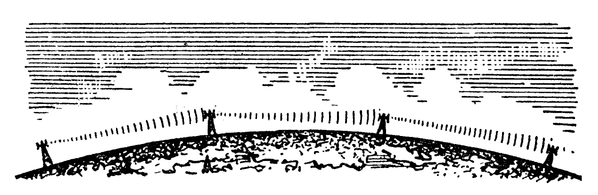


Рис. 37.

рового диапазона проникают через земную атмосферу и окружающие ее слои и поля и уходят в космическое пространство. Поэтому метровые и прилегающие к ним зоны коротких волн используются для космической связи — для связи с искусственными спутниками Земли, с космическими ракетами и космическими кораблями с людьми на борту. Например, нередко мы читаем в сообщении ТАСС о запуске очередного спутника: «...На спутнике имеется радиопередатчик, работающий на частоте 19,995 *Мгц*»; это соответствует длине волны около 15 *м*.

Дециметровые и **сантиметровые** волны распространяются прямолинейно, не отражаются ионосферными слоями и охватывают чрезвычайно широкий частотный диапазон. В основном эти волны используются для радиолокационных, радиорелейных и других специальных назначений, требующих остронаправленных антенн. Направленность же передающей или приемной антенны может быть тем острее, чем большему числу длин волн будут соответствовать габариты (зеркало) антенной конструкции. На радиорелейной линии через каждые 50—

60 *км* находится мачта с двумя большими параболическими зеркалами — направленными антеннами, приемной и передающей (рис. 37). Первая принимает сигналы, посланные предыдущей станцией, а вторая после усиления посылает эти сигналы дальше. По цепочке таких станций сигнал может быть передан на расстояния в несколько тысяч километров.

Строительство радиорелейных линий развито очень широко. Благодаря этим линиям стал возможен обмен телевизионными программами между городами и между странами. Например, теперь московские телевизионные передачи получили возможность смотреть жители большого числа городов СССР — от Львова до Свердловска и от Еревана до Крайнего Севера. Эти же линии дают возможность поддерживать телевизионную связь и со странами Европы до Англии включительно.



Рис. 38.

В качестве отражателей (пассивных или активных — с трансляционным передатчиком) могут быть использованы искусственные спутники Земли (рис. 38). Впервые телевизионная программа была передана через океан из США во Францию при помощи спутника «Телеэхо» 12 июля 1962 г. В ноябре 1963 г. при помощи спутника «Эхо-2» (пассивный отражатель) была произведена первая телевизионная передача из США в СССР (похороны президента Кеннеди). В дальнейшем этот спутник был использован для опытов связи между Англией и СССР (приемный пункт Горьковского университета в Зименках). Успехом завершились и опыты связи между Англией и Горьким «через Луну», т. е. при использовании в качестве отражателя Луны (рис. 39).

7 апреля 1965 г. в США запущен спутник «Эрли Бирд», время обращения которого таково, что он посто-

янно «висит» над Атлантическим океаном. Он будет использован для телевизионной связи с Европой. 23 апреля 1965 г. в СССР запущен спутник «Молния-1» с периодом обращения 11 *ч* 48 *мин.* Он служит активным ретранслятором. Опыт его использования для телевизионной и телефонной связи Москва — Владивосток дал прекрасные результаты.

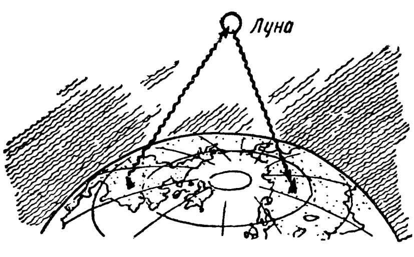


Рис. 39.

Линии радиорелейной связи позволили также осуществить междугородный видеотелефон, т. е. телефонную связь, во время которой собеседники видят друг друга. Первая такая линия была открыта в СССР между Москвой и Ленинградом. Затем начали действовать линии Москва — Киев и Ленинград—Киев. При небольших расстояниях вместо радиорелейных станций используется специальный высокочастотный кабель (такого же типа, что спускается от телевизионных антенн на крышах наших домов), передающий полосу частот, требуемую для 1—2 телевизионных программ. Еще более широкую полосу частот смогут передавать из одного города в другой проектируемые волноводные линии. Волновод, предназначенный для этих целей, представляет собой трубу прямоугольного сечения из хорошего проводника с полированной внутренней поверхностью. Радиоволны разных частот могут распространяться по такому волноводу с очень малыми потерями. По своей пропускной способности волноводные линии связи в несколько раз превосходят радиорелейные линии. Короткие волноводные линии уже теперь применяются в радиоаппаратуре, например для подводки энергии от передатчика радиолокатора к его антенне.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СРЕДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

На базе тех явлений, о которых рассказывалось в первой части, учеными-физиками, а потом и инженерами были созданы многочисленные и разнообразные приборы, составившие к нашему времени богатый ассортимент средств радиоэлектроники. Радиоэлектронные приборы дают возможность решать различнейшие задачи, которые до того не могли быть решены никакими другими средствами. С их помощью можно возбуждать колебания в любой среде и в очень широком диапазоне частот, передавать их на огромное расстояние, усиливать их, преобразовывать переменный ток в постоянный и постоянный в переменный, изменять частоту переменного тока, преобразовывать один вид энергии в другой, например световую в электрическую, электрическую в звуковую и пр. Чувствительность, диапазон, возможности этих приборов огромны. Благодаря им создалась почва для расцвета различнейших областей науки и техники; наука и техника получили точные и быстродействующие приборы и установки для исследования и анализа; возникли новые отрасли науки; стала возможной широкая автоматизация управления различными процессами.

Хорошим примером этого служат запуски искусственных спутников Земли, космических ракет и кораблей. Управление ими производится по радио с Земли, а результаты работы многочисленных исследовательских установок, до фото и телевидения включительно, по радио передаются на Землю.

Создание приборов, которые можно отнести к радиоэлектронным, началось примерно 100 лет тому назад, но в основном их разработка производилась в течение последних 50 лет. Хронологический перечень изобретений

и имена многих отечественных и зарубежных изобретателей и исследователей мы не приводим, так как это не входит в тему данной книги. Приведем краткие описания различных групп электронных приборов, работающих в многочисленных устройствах, применяемых в быту и в самых различных отраслях народного хозяйства.

Электронные лампы

Электронные лампы являются в настоящее время основным прибором радиоэлектроники. Именно они способствовали необычайно быстрому и широкому разви-

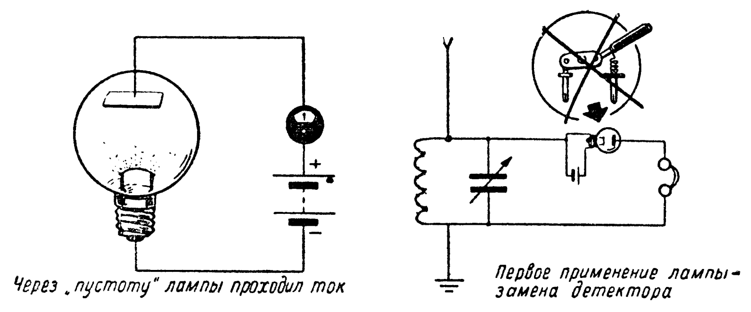


Рис. 40.

тию радиоэлектроники и ее воздействию на другие науки и отрасли техники.

Историю свою электронные лампы ведут с 1883 г., когда видный американский изобретатель Т. А. Эдисон, экспериментируя с осветительными электролампами, впаял в баллон одной из них металлическую пластинку, присоединил гальваническую батарею плюсом к этой пластинке, а минусом к нити накала и включил в цепь батареи измерительный прибор. К его удивлению, прибор отметил прохождение тока. Ток шел через пустоту! Ведь воздух из баллона был выкачан, в лампе не было ничего,— и все же через это «ничто» шел ток. Если полярность присоединения батареи изменялась, то ток не шел. При холодной нити накала ток тоже прекращался (рис. 40).

Эдисон не сумел объяснить и использовать подмеченное им явление, но на всякий случай запатентовал его.

Первое практическое применение указанного явления, которое иногда называют «эффектом Эдисона», было сделано в 1892 г. Цендером, использовавшим его для устройства лампы-индикатора, определявшей начало газового разряда. Но это применение было случайным, и не оно дало радиолампе путевку в жизнь. Это сделал англичанин Д. А. Флеминг. Ему нужен был детектор для радиоприемника, детектор надежный, не требовавший постоянной «возни» с ним. Перебирая все пригодное для этой цели, он вспомнил об открытии Эдисона. Лампа Эдисона пропускала ток лишь в одном направлении — это было как раз то, что ему требовалось. Флеминг изготовил ламповый детектор, который полностью оправдал его ожидания. Было это в 1904 г. Этот год можно считать годом рождения электронной лампы. Развитие «новорожденного» пошло довольно быстрыми шагами. Через три года — в 1907 г. — американец Ли де Форест ввел в лампу Флеминга сетку, дававшую возможность управлять током, текущим через лампу (рис. 41).

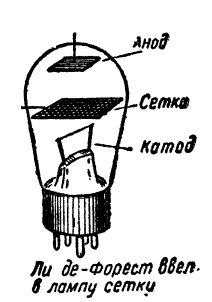


Рис. 41.

Лампа Флеминга представляла собой то, что мы теперь называем диодом. Это по существу такая же лампа, с которой проводил опыты Эдисон, но конструктивно лучше приспособленная для использования. У диода два электрода — катод, излучающий электроны, и анод, заряженный положительно относительно катода и притягивающий эти электроны. Такая лампа, как мы знаем, пропускает ток только в одном направлении, соответствующем движению электронов от катода к аноду. В обратном направлении ток проходить не может, потому что анод электроны не излучает.

Величина тока в такой лампе определяется напряжением на аноде (относительно катода), но при увеличении этого напряжения ток может возрастать только до некоторого предела — пока не будет исчерпана вся эмиссия катода (рис. 42). Нормальными условиями работы диода являются такие, когда напряжение на аноде не достигает этого предела.

Маломощные диоды применяются для детектирования, т. е. для выделения низкочастотных сигналов из высокочастотных. Более мощные диоды применяются также для выпрямления переменного тока, так как для питания радиоприемников (анодов ламп) нужен постоянный ток. Для этой цели применяют двойные диоды, которые выпрямляют оба полупериода сетевого переменного тока. Выпрямительные диоды получили название кенотронов.

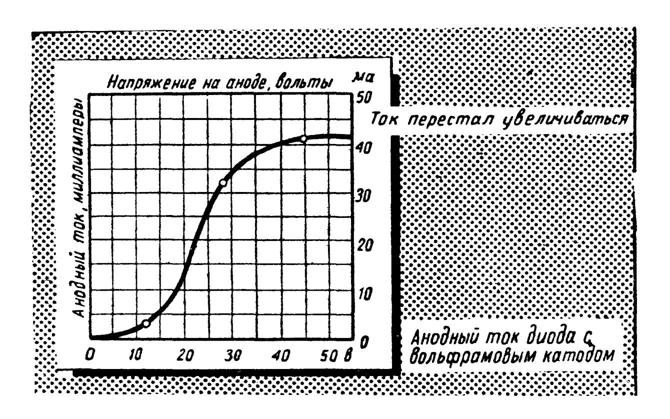


Рис. 42.

Рабочий ток электронной лампы (и многих других электронных приборов) определяется количеством электронов, отрывающихся от катода. Катодом может служить любая проволочка, изготовленная из металла, который может выдержать, не плавясь, температуру, достаточную для вылета электронов из нити во внешнее пространство. Очень подходящим материалом оказался вольфрам, используемый для изготовления нитей накала электрических осветительных лампочек. Он хорошо вытягивается в тонкие нити и выдерживает высокую температуру (температура плавления 3410° С). Вольфрамовые нити давали достаточную электронную эмиссию при нагреве до 2000—2200° С, хотя и требовали довольно большого тока на накал, что позволяло питать лампы только от аккумуляторов.

Скоро физики выяснили, что при небольшой добавке к вольфраму некоторых веществ повышенная электронная эмиссия получается при менее высокой температуре. Первой добавкой к вольфраму была окись тория в количестве 1—2%. Катоды из такого материала получили название торированных. Торированные катоды при нагреве до 1 500—1 600° С дают такую же эмиссию, как чисто вольфрамовые при температуре около 2 200° С.

В дальнейшем были разработаны еще более экономичные оксидные и бариевые катоды (рис. 43). Оксид

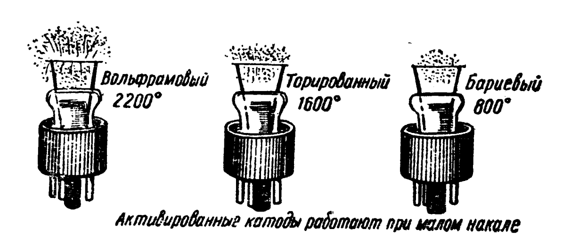


Рис. 43.

представляет собой окись бария. Поверхность катода покрывается слоем оксида. Современные катоды дают уже хорошую эмиссию при нагреве всего до 700—900° С — до красно-оранжевого накала. Характеризовать экономичность современных катодов могут лучше всего такие цифры: наша лампа 1924—1925 гг. с чисто вольфрамовым катодом потребляла ток накала 2 *вт.* Современная лампа такого же класса потребляет мощность 0,036 *вт.* Мощность накала уменьшилась примерно в 50 раз. Расход энергии на питание накала 55 теперешних ламп равен расходу энергии на питание одной старой лампы. Теперь для питания ламп можно обойтись удобными и легкими гальваническими батареями.

Катоды из тонкой нити имели очень малую тепловую инерцию и поэтому были непригодны для питания переменным током (давали пульсирующую эмиссию). Поэтому, когда встал вопрос (около 1930 г.) о переводе питания радиоаппаратуры на сеть переменного тока (вместо батарей), были созданы электронные лампы с подогревным катодом.

Имеется несколько конструкций таких катодов. В первых образцах основной частью подогревного катода был довольно массивный фарфоровый цилиндрик с двумя осевыми каналами (рис. 44). В эти каналы пропускалась нить накала, нагревающая фарфоровый цилиндрик. В более новых конструкциях в фарфоровый цилиндрик вставляется свитая изолированная нить накала. Снаружи на цилиндрик надевается металлическая (чаще всего никелевая) трубочка, покрытая составом, излучающим при нагреве электроны — слой оксида. От нагретой металлической трубочки — собственно катода делается, конечно, отдельный вывод.

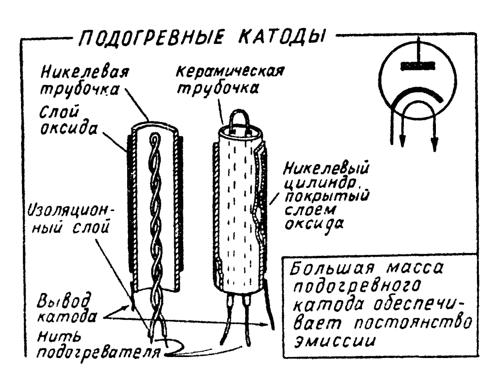


Рис. 44.

Фарфоровый цилиндрик с наружной металлической оболочкой имеет заметную тепловую инерцию и не успевает остывать вместе с периодическими колебаниями переменного тока накала (100 раз в секунду), и поэтому электронная эмиссия катода становится постоянной. Это устраняет первую причину пульсации анодного тока лампы.

Лампы с подогревными катодами часто называют также сетевыми лампами в отличие от ламп батарейных — ламп прямого накала. Подогревные катоды не особенно экономичны. Напряжение накала большинства приемно-усилительных ламп равно 6,3 *в*, а ток накала — 0,3 *а*, т. е. мощность накала около 2 *вт* — как у первых ламп прямого накала с чисто вольфрамовым катодом.

Но при питании от осветительной сети величина потребления тока накала не имеет большого значения, зато такая мощность накала при оксидной поверхности катодного цилиндра обеспечивает очень хорошие показатели, с которыми показатели старых ламп не могут и сравниваться.

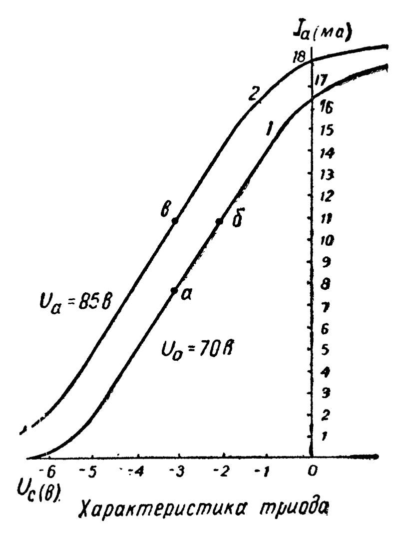


Рис. 45.

Диоды используются в аппаратуре для выпрямления переменного тока (получения постоянного тока, по величине пропорционального амплитудам колебаний любой частоты). Для усиления электрических сигналов и генерирования колебаний различной частоты используются триоды (трехэлектродные лампы) или многоэлектродные лампы. У триодов из-за близости сетки к катоду изменение напряжения на сетке сильнее влияет на величину анодного тока, чем изменение напряжения в аноде.

Для определения параметров лампы (количественных показателей ее действия) надо снять две характеристики лампы — две кривые изменения величины анодного тока в зависимости от сеточного напряжения. Они показаны на рис. 45. На этом графике по горизонтальной оси отложено напряжение на сетке, а по вертикальной — величина анодного тока лампы. При каждом анодном напряжении снимается своя кривая. Характеристика *1* снята при анодном напряжении 70 *в*, а характеристика *2* — при анодном напряжении 85 *в*. Из характеристики *1* видно, что изменение напряжения на сетке (U_c) на 1 *в* от —3 до —2 *в* сопровождается увеличением анодного тока I_a на 3 *ма* (точки *а* и *б*). Для того чтобы получить такое же изменение величины анодного тока при неизменном напряжении на сетке, надо увеличить анодное напряжение U_a на 15 *в* (точки *а* и *в*).

Таким образом, изменение напряжения на сетке на 1 *в* так же влияет на величину анодного тока, как изменение анодного напряжения на 15 *в*. Мы можем сказать, что действие изменения сеточного напряжения в 15 раз сильнее, чем действие изменения анодного напряжения. Эта величина называется коэффициентом усиления. У лампы, приведенной в нашем примере, коэффициент усиления равен 15.

Из этих же характеристик можно подсчитать еще один параметр—крутизну характеристики. Крутизной

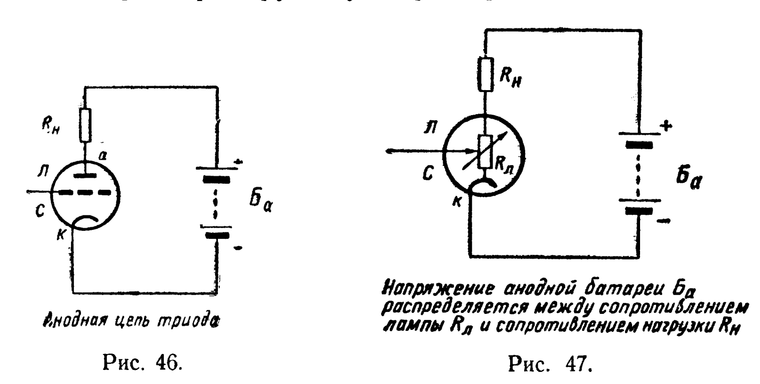


Рис. 46. Рис. 47.

характеристики называется величина изменения анодного тока, приходящаяся на изменение напряжения на сетке в 1 *в*. Из сопоставления тех же точек *а* и *б* на рисунке видно, что при изменении сеточного напряжения на 1 *в* (от —3 до —2 *в*) анодный ток увеличивается на 3 *ма*. Значит, крутизна характеристики этой лампы равняется 3 *ма/в*.

Посмотрим на помещенную на рис. 46 схему. На ней показан триод *Л* в его условном обозначении с выводами катода (*к*), сетки (*с*) и анода (*а*). В анодной цепи триода находится нагрузочное сопротивление $R_н$, изображенное в виде прямоугольника. Кроме того, в анодной цепи находится анодная батарея $Б_а$, плюс которой обращен в сторону анода лампы, а минус — к катоду.

Анодная батарея $Б_а$ дает постоянное (неизменяющееся) напряжение $U_б$, и величина нагрузочного сопротивления $R_н$ не изменяется. Но анодный ток в цепи изменяется из-за воздействия сетки. Это дает нам основание

считать, что лампа представляет собой переменное сопротивление $R_л$, величина которого зависит от напряжения на сетке (рис. 47). При правильном режиме схемы составляющая переменного напряжения на анодном нагрузочном сопротивлении $R_н$ будет во много раз (это зависит от параметров лампы) больше сигнального напряжения, поданного на сетку. Иначе говоря, ламповый каскад работает усилителем. Для дальнейшего

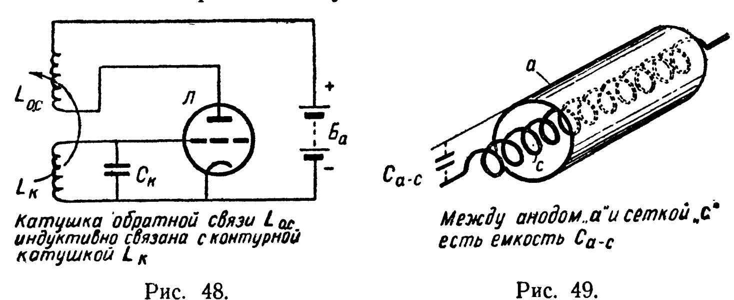


Рис. 48. Рис. 49.

усиления сигнала в схему может быть включен последующий каскад усиления.

В усилительном каскаде может быть образована обратная связь между колебаниями в анодной нагрузочной цепи и цепью или колебательным контуром, действующим на сетку. Эта обратная связь чаще всего имеет индуктивный характер (см. рис. 48). При увеличении обратной связи наступает момент, когда каскад начнет самостоятельно генерировать колебания с частотой, определяемой резонансной частотой основного колебательного контура сетки. Энергия генерируемых колебаний образуется за счет энергии анодного источника тока, так же как качания маятника в часах поддерживаются дополнительной энергией от заводной пружины часового механизма.

Следует добавить, что ламповые каскады с трехэлектродной лампой могут выполнять многие функции, используемые в радиотехнике или приборостроении; это могут быть: детектирование, смешение колебаний разных частот, умножение частот, деление частот, автоматическое регулирование какого-либо электрического параметра схемы, индикация резонанса, выполнение из-

мерительной или ограничительной задачи и т. п. Эти все функции лампового каскада подробно рассматриваются в книгах и учебниках по общей радиотехнике.

Многоэлектродные и комбинированные лампы

Через несколько лет после того, как трехэлектродные лампы завоевали необычайную популярность и пошли в массовое производство, электронная техника нача-

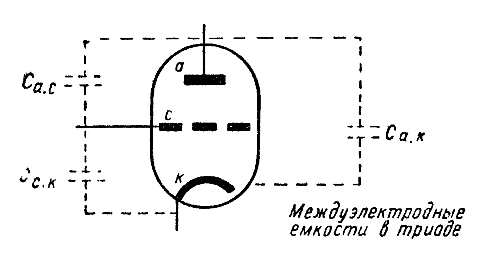


Рис. 50.

ла работу по их усовершенствованию. Общие задачи были ясны: снизить потребление энергии (сделать их более экономичными за счет повышения их к. п. д.), повысить их основные параметры — крутизну и коэффициент усиления и уменьшить вредные (паразитные) емкость и индуктивность конструктивных элементов самой лампы (электродов и их соединительных выводов). Необходимость этих усовершенствований выявлялась все ярче по мере перехода на высокие рабочие частоты. На рис. 49 наглядно изображена емкость, образуемая между сеткой и анодом триода старой конструкции. Такие же емкости образуются и между другими парами электродов, как это показано на рис. 50. При работе на коротких волнах эти емкости необходимо учитывать при расчете элементов радиосхемы; особенно вредной может быть емкость сетка — анод, которая связывает входную цепь, присоединенную к сетке лампы, с выходной цепью анодной нагрузки, в которой циркулируют значительно усиленные лампы колебания. В некоторых случаях емкость анод — сетка величиною в несколько пикофарад бывает достаточной, чтобы усилительный каскад превратился в ге-

нераторный, что выводит из строя всю установку в целом. На протяжении 20—25 лет непрерывно изменялись конструкции ламп обычного типа (для различных радиоприемников, телевизоров и других приборов). Изменялись покрытия катодов, дающие увеличение тока эмиссии при уменьшении мощности накала, уменьшались размеры конструкции лампы, сетка из более тонкой и температуроустойчивой проволоки приближалась к катоду. Введение дополнительных сеток между сеткой и анодом удалось уменьшить действующую емкость сетка — анод и во много раз увеличить основные параметры радиолампы — крутизну и коэффициент усиления. Удалось осуществить комбинированные лампы, содержащие в одном баллоне при одном катоде два или больше самостоятельных ламповых узлов. Появилось многообразие типов ламп, наиболее пригодных для выполнения различных функций радиосхем. Маломощные лампы с повышенным коэффициентом усиления выпускаются для работы в режиме предварительных каскадов усиления, а для оконечных каскадов выпускаются более мощные лампы с малым внутренним сопротивлением. Для смесительных и генераторных каскадов — отдельные типы ламп с наиболее удобными параметрами. Появились тетроды — лампы с двумя сетками: управляющей и экранирующей. В настоящее время ходовой лампой является пентод — лампа с пятью электродами: катод, управляющая сетка, экранирующая сетка, защитная, анод. Схема этого типа лампы показана на рис. 51. На управляющую сетку поступают, как и в других типах ламп, подлежащие усилению сигналы; следующая экранирующая сетка имеет некоторый положительный потенциал, помогающий электронам достигать анода и в то же время значительно уменьшающий действующую величину емкости между управляющей сеткой и анодом; третья, защитная сетка обычно соединяется с катодом и ослабляет влияние бомбардировки анода наиболее быстрыми электродами (эта сетка называется еще противодинатронной). Выпускаются также

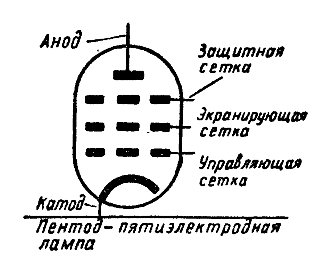


Рис. 51.

трехсеточные лампы (формально пентоды), имеющие другой режим и иные характеристики.

Описывать разнообразие типов электронных ламп даже одного класса (например, только для радиовещательных приемников) в данной книге не имеет смысла (в радиосправочниках можно разыскать не одну сотню типов). Как показатель развития электронной техники за 35—40 лет укажем, что коэффициент усиления повышался от 5 до 5 000, крутизна от 0,2 *ма/в* до 20 *ма/в* для разных типов ламп.

Мы касались здесь маломощных ламп массового применения. Много сотен типов ламп выпускается для других назначений (для передатчиков, мощных трансляционных усилителей, для профессиональной и специальной аппаратуры).

Электронные приборы (лампы) для сверхвысоких частот

Для работы на сверхвысоких частотах обычные конструкции электронных ламп становятся непригодными из-за большого пролетного времени между электродами и чрезмерных величин «паразитных» (с данной точки зрения) емкостей и индуктивностей конструктивных элементов. Пришлось находить различные пути решения, и разработанные приборы даже перестали называть лампами (надо сознаться, что многие типы обычных электронных ламп — не светящиеся или в сплошном металлическом баллоне — называются лампами только по привычке).

До диапазона метровых волн удалось дойти путем механического сокращения размеров деталей во внешней и внутренней конструкциях ламп, уменьшением или полным изъятием панели для включения лампы в схему и даже самого цоколя лампы. Лампы этой группы носили название малогабаритной серии, желудевой, пальчиковой и даже карандашной серии.

Для дальнейшего повышения рабочей частоты конструкцию лампы пришлось приспосабливать для присоединения к колебательным контурам этих диапазонов: объемные контуры и коаксиальные линии и волноводы. Примером может служить изображенная на рис. 52 лампа-триод маячного типа. Эта лампа своими дисковыми электродами входит непосредственно как оконечная

конструктивная часть коаксиальных резонаторов. Сеточный контур образуется двумя коаксиальными отрезками труб, это — наружный коаксиальный контур. Внутри имеется еще коаксиальный стержень, образующий внутренний анодный коаксиальный контур (изолированный слюдой для подачи анодного напряжения). Каждый коаксиальный объемный резонатор настраивается передвижением закорачивающих поршней. При подобной конструкции генератора и расстоянием между сеткой и

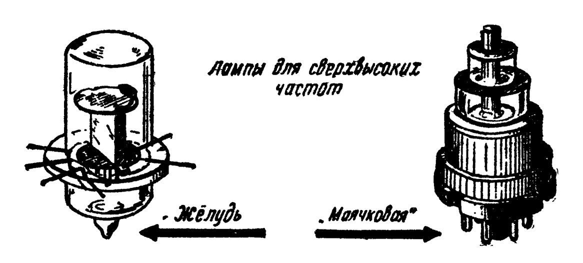


Рис. 52.

анодом маячковой лампы в 0,33 *мм* время пролета электронов не препятствует получению устойчивых колебаний при частотах 2 000 *Мгц* (длина волны 15 *см*).

Время пролета электронов ограничивает рабочий диапазон частот ламп маячкового типа, но это же время используется как положительный фактор в лампах с модуляцией потока электронов по скорости. Наиболее известным из этой группы оказался клистрон (см. рис. 53), широко используемый в технике сантиметровых волн. В клистроне поле высокой частоты объемного резонатора воздействует на поток электронов. Однородный поток электронов разбивается при этом на участки с большой и малой плотностью. Сгруппированный таким образом пучок электронов, отражаясь от электрода с отрицательным потенциалом (называемого «отражателем») проходит снова через тот же резонатор. Время пролета электронов регулируется за счет изменения напряжения на отражателе таким образом, чтобы поддерживать колебания в резонаторе. Для этого требуется, чтобы электроны возвращались на сетки в моменты, когда поле высокой частоты объемного контура препятствует их движению. При этом электроны теряют энергию, которая пере-

ходит в энергию электрического поля, поддерживая при этом уровень колебаний в контуре. Изображенный на рис. 53 клистрон массового производства (конца мировой войны) работает в трехсантиметровом диапазоне (частота 10 000 *Мгц*). Подстройка частоты в небольших пределах возможна за счет изменения фазы электронного пучка (изменением напряжения отражателя), но основная перестройка длины волны от 3,1 до 3,4 *см* осуществляется изменением объема резонатора с помощью винта настройки (за счет гибкой диафрагмы контура при условии сохранения полной его герметизации). Мощность в радиосхему, так же как и у других приборов этого диапазона, отводится зондом или петлей через коаксиальный кабель. Упомянутый тип клистрона был широко использован в качестве гетеродина радиолокационных приемников. Очень удачные с точки зрения обращения и экономичности источников питания клистроны «шумят» (все электроны с катода летят в резонатор), и поэтому в качестве усилителей высокой частоты они не используются. Можно отметить, что в разных странах для перекрытия диапазона волн от 0,5 до 25 *см* была разработана и выпущена не одна сотня типов клистронов. Есть небольшое количество и мощных клистронов.

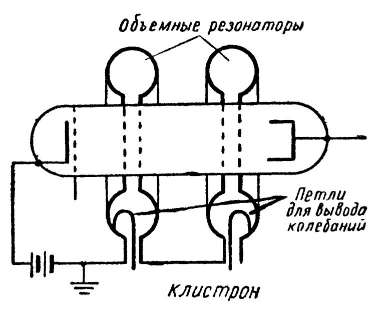


Рис. 53.

В радиолокационных установках требуются два основных высокочастотных генератора: один — маломощный, незатухающих колебаний для использования в гетеродинном приемнике, другой — мощный, для передатчика, работающего в импульсном режиме. Первому назначению удовлетворяли маячковые лампы и клистроны. Вторая задача была решена с помощью магнетронов — устройств, в которых используется фокусирующее действие постоянного магнитного поля. Внешний вид и схема магнетрона показаны на рис. 54. Большой цилиндрический катод в середине конструкции магнетрона излучает поток электронов, который в обычных условиях образо-

вал бы электронное облачко, которое мешало бы всякому регулированию их движения. Однако под действием мощного постоянного магнитного поля траектории электронов закручиваются в плоскости, перпендикулярной к магнитному полю. Поток электронов начинает вращаться вокруг катода и, проходя мимо щелей ряда объемных резонаторов, образует периодическое распределение плотности зарядов. В результате взаимодействия между

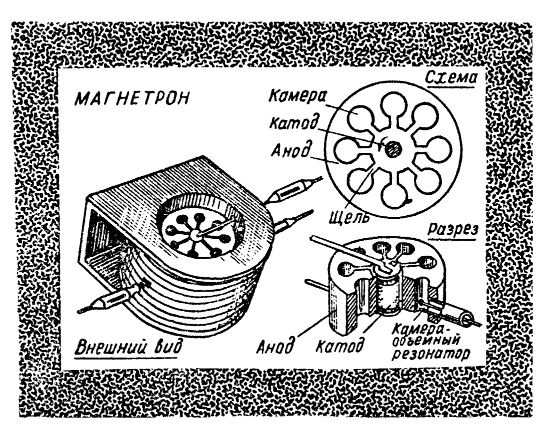


Рис. 54.

сфокусированным потоком и настроенными на одну и ту же волну объемными резонаторами возникают колебания высокой частоты, в создании которых участвует большая часть электронов, излученных катодом (коэффициент полезного действия магнетрона доходит до 75%). Колебания от объемных контуров отводятся в схему, как обычно, через штыри связи и волноводные или коаксиальные ответвители (при очень коротких волнах для связи служит щель между резонатором и волноводом). Изменение рабочей волны или даже перестройка ее в небольших пределах весьма сложна из-за большого количества резонансных контуров. Магнетроны (или другие приборы) работают в радиолокационных передатчиках, работают в импульсном режиме, при котором мощность короткого импульса обычно в 1 000—2 000 раз больше средней мощности. Типовым режимом можно считать микросекундные импульсы (1 000 в секунду) мощностью в один или

несколько мегаватт (т. е. мощность в несколько тысяч киловатт — мощность хорошей районной электростанции!). Для радиолокации планет применяются магнетроны значительно большей мощности. Это свойство магнетронов — возможность использовать большие мощности движения электронов в постоянном магнитном поле — позволяет в настоящее время исследовать вопрос о передаче электроэнергии на высокой частоте. Академик П. Капица разработал плоский магнетрон — планотрон, который по теории обратимости электронных процессов позволяет превращать как постоянный ток в высокочастотные колебания, так и обратно высокочастотные колебания в постоянный ток. Возникает уже вопрос об электронике больших мощностей, передаваемых на высокой частоте по прямоугольным или цилиндрическим волноводам — трубам, не требующим изоляции от земли и подвеса на дорогостоящих мачтах электропередачи. Затруднением в настоящее время является нестабильность того типа волн, которые могли бы с чрезвычайно малыми потерями распространяться по волноводу.

Кроме перечисленных типов электронных приборов, предназначенных для работы в диапазоне очень коротких радиоволн, разработано еще много других типов, часть которых выпускается электронной промышленностью в довольно больших количествах. Не будем даже перечислять их названия (лучше познакомиться с ними по специальным статьям и книгам).

Электронно-лучевые трубки

Видимый свет излучается обычно телами, нагретыми до очень высокой (порядка 1 000° С и выше) температуры, но существует еще холодное свечение — люминесценция, возникающее при облучении некоторых веществ различными видимыми и невидимыми лучами (фотонами различных видов, о чем уже говорилось в первом разделе книги). Вещества, которыми покрывают экраны и отдельные детали приборов и которые способны светиться (люминесцировать) под воздействием различных лучей, называются люминофорами. Люминофоры, возбуждаемые катодными лучами (электронной бомбардировкой) называются катодолюминофорами. Имеются люминофоры, возбуждаемые и невидимыми для глаза лучами,

Простейшими и очень распространенными лампами этого рода являются оптические индикаторы настройки («глазки»), имеющиеся почти в каждом радиоприемнике и в большинстве магнитофонов.

Электронно-лучевой индикатор настройки представляет собой (см. рис. 55) соединение в одном баллоне двух



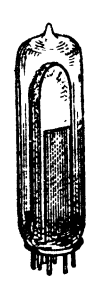


Рис. 55.

ламп — триода и индикатора. Триодная часть лампы не имеет особенностей. Основной деталью индикатора служит конусовидный экран, покрытый минералом виллемитом, который светится красивым зеленым светом, если его подвергнуть электронной бомбардировке. Экран соединен с источником анодного питания, напряжение на нем не изменяется.

Катод триода проходит через середину экрана и является поэтому катодом и индикаторной части. Излучаемые им электроны устремляются к экрану, ударяются об него и вызывают свечение виллемита.

Между катодом и экраном помещен плоский электрод — «нож», соединенный с анодом триодной части и имеющий поэтому потенциал анода. В цепь анода лампы включается нагрузочное сопротивление, в котором происходит падение напряжения тем больше, чем больше величина анодного тока.

При отсутствии сигнала напряжение на сетке отрицательно, анодный ток мал, падение напряжения в нагрузочном сопротивлении тоже мало и напряжение на аноде близко к напряжению на экране. Нож, имеющий потенциал анода, в этом случае не оказывает влияния на электроны, летящие от катода к экрану, и весь экран

светится равномерно. Если на сетку лампы поступает напряжение сигнала (а в радиоприемниках это бывает при настройке на станцию), то потенциал сетки становится более положительным, анодный ток триода увеличивается, падение напряжения в нагрузочном сопротивлении возрастает и напряжение на аноде, а следовательно, и на ноже уменьшается. Нож оказывается заряженным отрицательно относительно экрана, и электроны, летящие от катода, будут отталкиваться к экрану; на экране

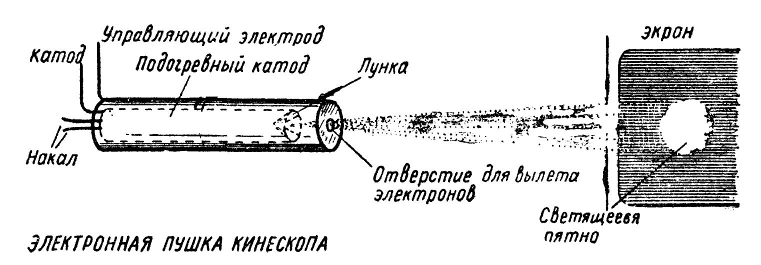


Рис. 56.

за ножом образуется затемненный участок, имеющий форму сектора. Чем сильнее сигнал, тем меньше напряжение на аноде и ноже и тем шире будет затемненный сектор. При настройке на радиостанцию сигнал будет тем сильнее, чем точнее настройка приемника, поэтому по величине затемненного сектора можно судить о точности настройки.

Подобные индикаторы имеются многих разных типов и конструкций.

В осциллографах, телевизорах и экранах радиолокационных установок применяются электронно-лучевые трубки. Экраны этих приборов покрыты люминофором, светящимся под действием электронного луча, излучаемого катодом («электронной пушкой», см. рис. 56). После фокусировки (электрическим или магнитным полем) луч делается таким тонким, что на люминофоре экрана возникает светящаяся точка диаметром около 0,5 *мм*. С помощью двух отклоняющих систем (электрического или магнитного поля, как было описано в первом разделе книги) эту светящуюся точку можно заставить быстро перемещаться по экрану в горизонтальном или вертикальном направлениях. Кроме того, меняя напря-

жение на модуляторе (цилиндр с отверстием, выпускающим электронный пучок от катода) можно изменять интенсивность электронного луча и, следовательно, яркость светящейся точки на экране электронно-лучевой трубки.

Следовательно, электронно-лучевая трубка (внутреннее устройство см. рис. 57) допускает троякое управление лучом: передвижение его по горизонтали, передвижение по вертикали и изменение его интенсивности. Мы можем направить луч в любую точку экрана и заставить ее светиться с той или иной яркостью (в тех, разумеется, пределах, в каких это допускает люминофор, которым покрыт экран).

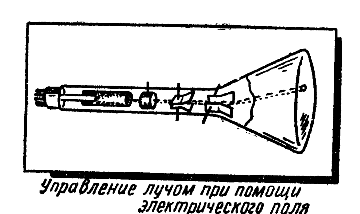


Рис. 57.

Эти три вида управления лучом электронно-лучевой трубки и позволяют использовать ее самыми разнообразными способами и решать при ее помощи очень сложные технические задачи.

Наиболее известная область использования электронно-лучевых трубок — телевидение. Телевизионные изображения передаются, как известно, по строкам. Подачей на отклоняющие системы трубки нужным образом изменяющегося напряжения можно заставить луч прочерчивать горизонтальные строки, укладывая их сверху вниз. По нашему стандарту изображение раскладывается на 625 строк. Интенсивность луча при его пробегании по строке нужным образом изменяется, отчего свечение точки, на которую он в данный момент падает, бывает то более, то менее ярким.

Совершенно очевидно, что для того, чтобы передача изображения могла осуществиться, нужно соблюдение следующих условий: во-первых, полная и точная синхронизация движения луча приемного телевизора с движением луча передающей трубки и, во-вторых, — интенсивность луча должна точно следовать за управляющими сигналами трубки телевизионного передатчика. Все сигналы, управляющие синхронизацией развертки строк, смены кадров и интенсивности яркости светящейся точ-

ки экрана, содержатся в высокочастотных радиосигналах, излучаемых антенной телевизионного передатчика. Задачей телевизионного приемника и является — принять и усилить рабочую радиоволну, выделить из нее все синхронизирующие и управляющие сигналы и заставить их правильно управлять развертками луча по экрану и яркостью светящейся передвижной точки.

Электронно-лучевая трубка находит множество самых разнообразных применений. Например, ее можно использовать для измерения многих величин. Скажем, величину напряжения легко определять по отклонению луча. Если, допустим, начальным положением луча будет его крайняя позиция на строке, то при приложении к отклоняющей системе напряжения луч отклонится. По величине отклонения можно судить о величине напряжения. Приложив к трубке шкалу, можно точно измерить величину напряжения. Так как при помощи различных датчиков почти любую величину можно превратить в электрическую, то с помощью трубки можно измерять различнейшие величины.

На этом свойстве преобразования работают осциллографы разных назначений, позволяющие развертывать и наблюдать на экране электронно-лучевой трубки различные физические быстро протекающие процессы во многих отраслях техники. Известная скорость развертки луча позволяет точно измерять форму и продолжительность этих процессов (например, анализировать работу быстродействующего реле или гармонический состав акустических колебаний, возникающих при действии музыкальных тонов, речи и т. п.).

Электронно-лучевая трубка, например, дает возможность измерять чрезвычайно малые промежутки времени — миллионные и миллиардные доли секунды. Для этого можно, например, заставить луч прочерчивать строку за миллионную долю секунды (например, подать на горизонтальную развертку колебания с частотой, измеряемой мегагерцами). Электрические импульсы, промежутки времени между которыми надо измерить, прокладываются ко второй отклоняющей системе (рис. 58). По расстоянию между выбросами можно судить о времени. Именно эта возможность, даваемая электронно-лучевой трубкой, и используется в радиолокации для

измерения отрезков времени между посылкой луча и возвращением отраженного сигнала, а от времени очень просто перейти к расстоянию, потому что скорость распространения электромагнитных волн постоянная — за одну микросекунду электромагнитная волна распространяется на триста метров.

Электронно-лучевую трубку можно приспособить для печатания на экране знаков, букв, цифр и пр. Такие трубки называются знакопечатающими. У знакопечатающей трубки две пары отклоняющих систем. Первая пара направляет луч на непрозрачный экран-трафарет с прорезанными в нем буквами, цифрами, нужными знаками. Электронный луч, пройдя сквозь прорезанное отверстие, примет в сечении его форму и, попав на экран, образует на нем светящийся знак этой формы. После экрана-трафарета луч попадает в сферу действия второй отклоняющей системы, которая направляет его в нужное место люминесцирующего экрана, где появляется нужный знак.



Рис. 58.

Трубка - переключатель

Рис. 59.

Такая трубка может очень помочь в работе, например, аэродромного диспетчера. Диспетчер видит на экране подобной трубки (центром которого является аэропорт) изображения самолетов, находящихся в воздухе на подходах к порту, причем около каждого самолета есть данные о номере его рейса, количестве пассажиров, остатке горючего, высоте и пр. Изображение самолета перемещается по экрану в соответствии с его действительным движением. Сведения об этом получаются от системы радиолокационных станций. Таким образом, у диспетчера имеется полная картина того, что происхо-

дит в воздухе над аэропортом и его подходах, что помогает ему принимать нужные решения. Он, действительно, несмотря на, может быть, глубокую ночь, видит самолеты, их взаимное расположение, направление и скорость движения и т. п. Совершенно очевидно, насколько ценна для него такая картина.

Развертку луча электронно-лучевой трубки можно заставить работать как быстродействующий переключатель, если в трубке вместо экрана поместить пластину с контактами, расположенными по кольцу (рис. 59). Если заставить электронный луч обегать это кольцо, то получится исключительно быстро работающий переключатель, который будет по очереди замыкать контакты. Такой переключатель может дать возможность по одному каналу вести одновременно несколько телефонных разговоров без помех друг другу. Для этого нужно иметь две трубки-переключателя, работающие синхронно. Каждая пара абонентов присоединена к определенной паре пластин. Электронные лучи будут большое количество раз в секунду присоединять их друг к другу и снова разъединять. Но заметно это говорящим не будет, потому что перерывы на миллионные доли секунды мы не ощущаем. Правда, по обычной телефонной линии такие сигналы пройти не могут.

Из приведенных примеров видно, сколь разнообразны могут быть применения электронно-лучевых трубок и как велики их возможности. При этом нужно помнить, что приведенными здесь примерами отнюдь не исчерпываются виды и применения электронно-лучевых трубок. Здесь ничего не говорилось, например, о передающих телевизионных электронно-лучевых трубках разных видов. Эти трубки делают обратное тому, что делают приемные электронно-лучевые трубки. Они не электрические сигналы превращают в видимое изображение, а, наоборот, превращают световое изображение, спроектированное на экран, в электрические сигналы. Для этого их экран усеян миллионами зерен-фотоэлементов, которые заряжаются при их освещении (свет вырывает с их поверхности электроны и заряжает их положительно — чем ярче точка, тем больше заряд). А электронный луч обегает по строкам поверхность экрана и «снимает» эти заряды. Есть трубки и другого типа — так называемые видиконы. У них экран полупроводниковый, проводи-

мость каждой его точки изменяется в зависимости от освещения. Электронный луч обегает поверхность экрана, причем цепь его замыкается через ту точку экрана, на которую он в данный момент падает. А так как сопротивление каждой точки экрана зависит от ее освещения, то величина тока луча будет изменяться в зависимости от освещения той или иной точки экрана. В результате





Так мы увидели космонавта на экранах своих телевизоров

Рис. 60.

ток луча окажется промодулированным сигналами изображения.

Видиконы очень удобны в том отношении, что они малы по размерам, просты и дешевы; но у них есть один недостаток, ограничивающий круг их возможных применений, — известная инерционность. Сопротивление экрана после прекращения освещения не мгновенно восстанавливает свою первоначальную величину, поэтому показ на экране телевизора быстро движущихся объектов не получается удовлетворительным, изображение смазывается (рис. 60). По чувствительности к свету телевизионные передающие трубки превосходят лучшую кинопленку. Поэтому теперь входит в практику съемка в условиях плохой освещенности не кинокамерой, а телевизионной камерой с пересъемкой на киноленту с экрана специального телевизора-монитора. Так удается получить киноленты с изображением таких событий, которые вследствие плохой освещенности не могли быть засняты кинокамерой.

Существует группа электронно-лучевых трубок, используемых в качестве запоминающих устройств в элек-

тронных счетно-решающих машинах. В таких трубках тот или иной сигнал, который нужно запомнить, запечатлевается в виде заряда на экране трубки, сделанном из изоляционного вещества. Считывание записанного производится с большой скоростью электронным лучом, направляемым в нужное место экрана. Такие электронно-лучевые трубки «памяти» используются в некоторых типах электронно-вычислительных машин для хранения и использования данных, записываемых временно по ходу выполнения работы.

Электронно-оптические преобразователи

К числу очень интересных по своему замыслу и по своим возможностям электронных ламп и приборов принадлежат электронно-оптические преобразователи. Эти приборы менее известны широким кругам, чем другие.

Как показывает само название, электронно-оптические преобразователи служат для преобразования оптического изображения в электронное, вернее, в изображение, нарисованное электрическим потенциалом, для чего приходится с различных точек поверхности вырывать разное количество электронов, пропорциональное освещенности этой точки. Затем электронное изображение снова преобразовывается в оптическое.

Электронно-оптические преобразователи применяются для двух целей: для усиления изображений, полученных при помощи видимых световых лучей, в тех случаях, когда эти изображения слишком слабы, и для преобразования изображений, полученных при помощи невидимых лучей, в видимые. В большинстве случаев этими невидимыми лучами бывают инфракрасные лучи.

На рис. 61 показан разрез электронно-оптического преобразователя. Изображение наблюдаемого объекта проектируется оптической системой на фотокатод, помещенный в стеклянном цилиндре, из которого выкачан воздух. Свет выбивает из фотокатода электроны в количестве тем большем, чем ярче освещена данная его точка. Выбитые электроны устремляются к люминесцентному экрану (справа). Для того чтобы ускорить их движение и заставить бомбардировать экран с должной силой,

между фотокатодом и экраном прикладывается высокое напряжение (минусом к катоду, плюсом к экрану). Чем сильнее будут электроны ударяться об экран, тем ярче он будет светиться.

Для того чтобы перенос изображения на экран был правильным, чтобы выбитые из фотокатода электроны перемещались параллельно, не попадая в другие участки изображения (что привело бы к его размазыванию), при-

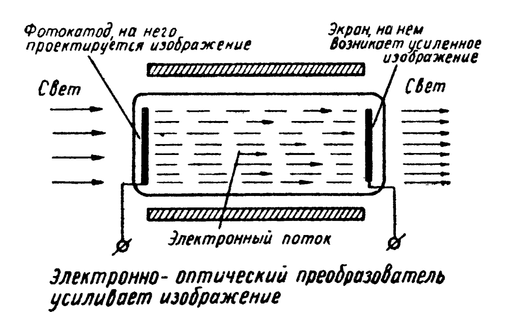


Рис. 61.

меняется электронная оптика — магнитные или электростатические линзы. На рисунке показана электростатическая фокусировка (излучение параллельное) электронов, достигаемая установкой фокусирующих электродов, к которым подводится определенное напряжение относительно катода. Если управление потоком электронов магнитное, то катушка, создающая магнитное поле, надевается снаружи на баллон преобразователя.

Перенесенное с фотокатода изображение появится на светящемся люминесцентном экране.

Если преобразователь применяется только для усиления изображения, то его фотокатод должен быть чувствительным к лучам видимого спектра, а экран и напряжение на нем подобраны так, чтобы изображение на экране получалось более ярким, чем то, которое проектируется на фотокатод. Обычно бывает достаточно одного звена усиления, но его можно увеличить, применив еще один преобразователь с большим усилением иначе: вместо первого экрана установить пластину, из-

лучающую под воздействием электронной бомбардировки вторичные электроны.

Электронно-оптические преобразователи, усиливающие изображения, находят многообразные применения. Они, например, используются в некоторых передающих телевизионных электронно-лучевых трубках для повышения их чувствительности, их применяют для усиления изображений, даваемых астрономическими трубами.

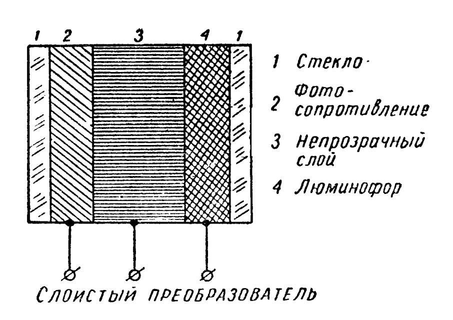


Рис. 62.

Фотокатод электронно-оптического преобразователя может быть чувствительным к невидимым лучам, например к инфракрасным лучам. Такой преобразователь дает возможность видеть в темноте. Если наблюдаемые объекты сами являются источниками инфракрасных лучей, то их можно увидеть на экране преобразователя без дополнительного «подсвечивания» инфракрасными лучами. Но в некоторых случаях применяют и такое подсвечивание. Например, фары автомашины могут излучать невидимые инфракрасные лучи, а водитель на экране электронно-оптического преобразователя видит участок дороги перед автомашиной так, как будто бы он освещается обычным светом. Инфракрасные фары этого типа могут освещать дорогу на несколько десятков метров, т. е. примерно так, как и обычные фары.

В электронно-оптических преобразователях для инфракрасного света применяются специальные меры, чтобы сделать невозможной «засветку» фотокатода люминесцентным экраном. Для этого, например, защищают фотокатод тонким слоем металла, непрозрачным для све-

та, но прозрачным для электронов, летящих от фотокатода к экрану.

Существуют другие конструкции электронно-оптических преобразователей, но общий принцип их работы не отличается существенно от описанного. Например, есть слоистые преобразователи (рис. 62), у которых роль фотокатода выполняет слой фоторезистора, прилегающий непосредственно к люминесцентному экрану. На слой фоторезистора проектируется изображение, причем величина сопротивления местного участка слоя изменяется в соответствии с его освещенностью. Интенсивность свечения экрана зависит от сопротивления прилегающей точки фоторезистора.

Электронно-оптические преобразователи применяются иногда для увеличения яркости изображений, даваемых рентгеновской аппаратурой.

Здесь следует упомянуть также о приборах нового направления технической физики — интроскопии (видении в непрозрачных средах). Необходимые электронно-оптические преобразователи создаются в недавно созданном Научно-исследовательском институте интроскопии. Для проникновения сквозь непрозрачные тела используются различные лучи: инфракрасные, рентгеновы, гамма-частицы, нейтроны, а также и ультразвуковые колебания, позволяющие увидеть на экране преобразователя изображение скрытого (в глубине) от глаз тела.

Фотоэлементы

Всегда бывает очень трудно определить дату зарождения какой-либо отрасли знания или той или иной науки. Но в истории радиоэлектроники эта дата известна.

В 1873 г. американец У. Смит совершенно случайно обнаружил изменение проводимости селена при его освещении. При усилении освещения сопротивление селена уменьшалось (рис. 63).

Мы теперь знаем, чем это объясняется. Селен — полупроводник. Свободных электронов, нужных для образования тока, в нем почти нет. Но если селен осветить, то фотоны выбивают из атомов электроны, которые получают возможность передвигаться и образовывать ток. Чем сильнее освещение, тем больше электронов теряет связь с атомами и тем больше будет величина тока, созда-

ваемого неизменным напряжением. Это явление называется фотоэффектом, точнее — внутренним фотоэффектом, потому что освобожденные светом электроны не покидают пределов вещества, остаются внутри его.

Опыты крупного русского физика А. Г. Столетова (1839—1896 гг.) показали, что свет вырывает с поверхности тела отрицательные заряды (рис. 64) и что эти заряды при определенных условиях можно использовать

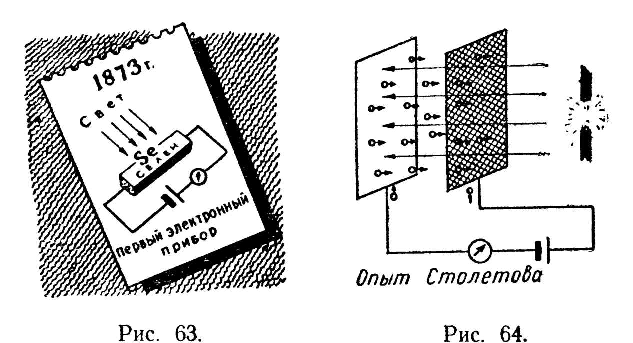


Рис. 63. Рис. 64.

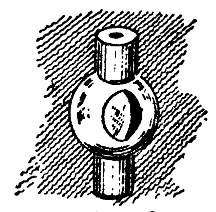
для образования тока (первые приборы с внешним фотоэффектом).

Фотоэффект довольно долго оставался просто физическим опытом, так как техника периода его открытия не была готова к его практическому использованию. Одной из основных причин этого было то, что фотоэлементы сами по себе дают очень небольшой ток (речь идет о внешнем фотоэффекте), который для приведения в действие каких-либо устройств нуждаетстя в чувствительных реле. Широкий выход фотоэлементов на арену практического применения был начат лишь после того, как освоение электронных ламп позволило создать подходящие усилители.

Наиболее важна роль фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Основной частью такого фотоэлемента является фотокатод, излучающий электроны при освещении. При этом надо оговориться, что термин «освещение» не нужно понимать в его обиходном смысле, связанном с видимым светом. Невидимые глазом ультрафиолетовые, инфракрасные и даже рентгеновы лучи тоже могут воздействовать на фотоэлемент и заставлять его срабатывать.

От материала фотокатода зависит, к каким именно частотам электромагнитного излучения он будет чувствителен.

Каждый металл в той или иной степени подвержен фотоэффекту. Но этот фотоэффект в большинстве случаев мал. Наибольшим фотоэффектом обладают щелочные металлы: литий, натрий, калий, рубидий, цезий. Однако фотокатоды из чистых металлов не применяются. Наиболее распространено использование для фотокатодов цезия в соединении с другими веществами. Чаще других применяются кислородно-цезиевые и сурьмяно-цезиевые катоды. Структура фотокатодов сложна. Например, кислородно-цезиевый катод состоит из слоя серебра, поверх которого расположен слой окиси серебра. Далее следует слой из окиси цезия и мельчайших частиц восстановленного серебра. Далее, на самой поверхности располагается тонкий слой атомов цезия. Подобную сложную структуру имеют и другие фотокатоды.



Так выглядит электрический глаз-фотоэлемент

Рис. 65.

В обычном вакуумном фотоэлементе половина внутренней поверхности баллона покрыта светочувствительным слоем, образующим фотокатод (рис. 65). Вывод у него делается от нижнего проводящего слоя. Воздействующие на фотокатод лучи проникают в фотоэлемент через прозрачную часть баллона. Для собирания выбитых из фотокатода электронов служит электрод в виде кольца, расположенный в середине баллона. Этому электроду придается кольцевая форма для того, чтобы он не препятствовал световым или иным лучам попадать на фотокатод.

К фотокатоду и собирающему электроду прикладывается напряжение порядка 150—250 *в*, минусом к катоду и плюсом к собирающему электроду, который является поэтому анодом. Газ из баллона выкачивается. При попадании света (или других лучей) на фотокатод с его поверхности будут выбиты электроны, которые попадут в поле анода и притянутся им. Через фотоэлемент потечет ток, величина которого зависит от силы освещения фотокатода. Токи, даваемые фотоэлементами, невелики, они обычно измеряются микроамперами.

Чтобы увеличить ток, развиваемый фотоэлементами, в них часто вводят в небольшом количестве какой-либо инертный газ, например криптон, неон, аргон, под давлением около 10^{-2} *мм рт. ст.* В таких газовых фотоэлементах электроны, выбитые светом из фотокатода, встречают на своем пути к аноду атомы газа и ионизируют их — выбивают из них электроны. Поэтому число электронов увеличивается. Электроны, выбитые из атомов, в

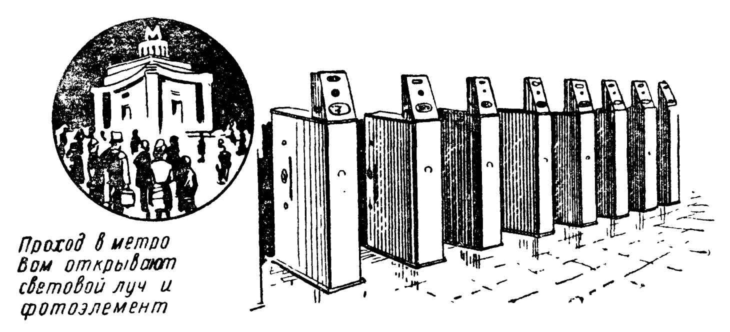


Рис. 66.

свою очередь ионизируют встретившиеся им атомы газа. В результате ток газовых фотоэлементов в 6—8 раз превосходит ток вакуумных фотоэлементов. Газовые фотоэлементы легко различить по букве «Г», имеющейся в их названии. Она означает «газонаполненный». Иногда фотоэлементы объединяются с усилителем типа ФЭУ (фотоэлектронные умножители).

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом такого типа, о каком только что было рассказано, находят широчайшее применение. В частности, именно они позволили озвучить кино. Фонограмма, записанная на кинофильме оптическим способом, считывается с него при помощи фотоэлемента. Фотоэлементы дали возможность осуществить фототелеграф. Фотоэлементы являются основой очень многих систем автоматики. Каждый день миллионы человек, пользующихся московским метро, соприкасаются с фотоэлементной автоматикой (рис. 66). Теперь для прохода к поездам надо опустить в автомат пятак и пройти через узкий проход. При этом пассажир пересекает луч, падающий на фотоэлемент. Если пятак не опущен, то фотоэлемент приводит в действие запирающий меха-

низм, перекрывающий проход. Фотоэлементы включают фонари при наступлении темноты, считают детали на конвейере, сигнализируют об уровне жидкости в сосудах, отбраковывают бумагу или ткани по цвету и пр.

Вторым типом фотоэлементов являются фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, называемые фоторезисторами (фотосопротивлениями). Как уже было сказано, в этих фотоэлементах под воздействием облучения происходит выбивание электронов из атомных оболочек, но эти электроны не вылетают во внешнее пространство, а увеличивают проводимость фоторезистора т. е. уменьшают величину его сопротивления. Если включить такой фоторезистор в цепь электрического тока (рис. 67), то при прочих равных условиях величина тока в цепи будет зависеть от освещения фоторезистора. При увеличении облучения величина тока в цепи будет возрастать. Эта особенность фоторезисторов дает возможность применять их в различной аппаратуре автоматики. Особую ценность представляет то, что фоторезисторы очень чувствительны к инфракрасным излучениям и могут с успехом применяться в аппаратуре автоматической защиты от перегрева, от повышения температуры сверх определенного предела и пр.

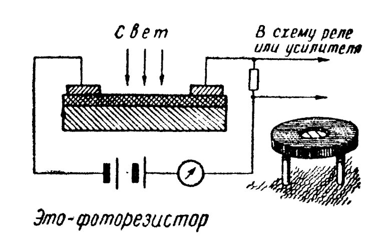


Рис. 67.

Известно довольно много веществ, пригодных для устройства фоторезисторов. Главнейшими из них являются селеновые, серноталлиевые, сернисто-висмутовые и другие соединения.

В последнее время фоторезисторы начали применять также и в звуковом кино для «считывания» фотограмм с кинолент. Особенно широко применяются фоторезисторы для управления на расстоянии производственными процессами, для предупреждения несчастных случаев и аварий. Схемы с фоторезисторами останавливают машины при опасном приближении к ним. Малые размеры, большая прочность, четкость срабатывания обеспечивают фоторезисторам широкий круг применения.

Вентильные фотоэлементы

Достойно удивления то, что все основополагающие открытия в области фотоэффекта этого крайне важного физического явления, играющего огромную роль в современной технике, были сделаны во второй половине 19-го века на протяжении всего каких-нибудь 14 лет. В 1873 г. У. Смит обнаружил внутренний фотоэффект, в 1887 г. Г. Герц открыл явление внешнего фотоэффекта, а в 1876 г. Адамсом и Дэйем было замечено удивительное явление — при освещении палочки селена на ней возникал электрический заряд. Объяснить и понять это явление никто не мог, и о нем скоро забыли. И, конечно, ни Адамсу, ни Дэйю не могли даже пригрезиться такие фантастические перспективы, как использование наблюденного ими явления для питания электроэнергией искусственных спутников Земли и космических ракет.

О загадочной особенности селена вспомнили лишь в 30-х годах нашего столетия. Это явление было изучено. Как оказалось, таким свойством обладает не один селен. В тех случаях, когда оно наблюдалось, в приборе всегда существовал запорный слой, пропускающий ток только в одном направлении. Механизм явления еще не был до конца понятен, но это не помешало практически использовать его.

Явление было названо фотоэффектом запирающего слоя, а приборы, в которых оно наблюдается, — фотоэлементами с запирающим слоем. Первые практические фотоэлементы с запирающим слоем были созданы из закиси меди. Делались также и селеновые фотоэлементы с запирающим слоем.

По-настоящему фотоэффект запирающего слоя был понят лишь в сравнительно недавние годы, когда достаточно продвинулось вперед учение с полупроводниках и происходящих в них процессах. Сущность эффекта оказалась простой. Мы знаем, что многие полупроводники, из которых наиболее известен селен, обладают внутренним фотоэффектом. При облучении из атомов такого полупроводника вырываются электроны, которые начинают движение внутри полупроводника. Это хаотическое тепловое движение не имеет какого-либо предпочтительного направления. Если в полупроводнике есть запирающий слой (стр. 55), то известная часть электродов движется в

сторону этого слоя в проходном направлении, т. е. в таком направлении, продвижению в котором запирающий слой оказывает минимальное сопротивление. Эти электроны пройдут через запирающий слой, но возвратиться обратно в покинутую часть полупроводника они не смогут, так как запирающий слой преградит им дорогу в этом направлении. Не смогут проскочить сквозь запирающий слой и те электроны, которые находятся в этой вто-



Рис. 68.



Рис. 69.

рой части полупроводника. Поэтому в ней будет происходить накапливание электронов. Она будет заряжаться относительно первой части отрицательно. Возникшее по обе стороны запирающего слоя напряжение можно использовать, присоединив к ним какую-нибудь нагрузку.

Таким образом, фотоэлемент с запирающим слоем становится источником электрического тока. Он служит прямым преобразователем световой энергии в электрическую (рис. 68).

В настоящее время фотоэлементы с запирающим слоем часто называют вентильными фотоэлементами; кроме того, у них есть еще несколько более вольное название — солнечные батареи (рис. 69). Так их обычно называют в общей печати.

Селеновые вентильные фотоэлементы представляют собой металлическую пластину, на которую способом вакуумного распыления нанесен тонкий (около 0,1 *мм*) слой селена. Этому слою путем термической обработки придается наибольшая светочувствительность. Затем методом катодного распыления селеновая поверхность по-

крывается тонким прозрачным слоем железа, а поверх всего укладывается защитный слой прозрачного лака.

Запирающий слой образуется в поверхностном слое селена при его обработке. Нижний слой металла служит основой всего фотоэлемента и его одним выводом. Верхний слой металлизации является вторым выводом. Электроны концентрируются в верхнем слое, который заряжается поэтому отрицательно.

Селеновый вентильный фотоэлемент чувствителен ко всей видимой части спектра электромагнитных колебаний. Различными примесями можно несколько смещать чувствительную область в сторону более высоких или более низких частот.

К. п. д. селеновых элементов мал. Он не превышает 0,1%. Более чувствительным являются серно-таллиевые вентильные элементы, их к. п. д. доходит до 1,1%.

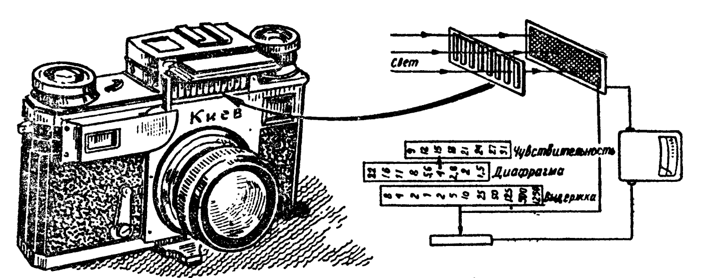
Наилучшими из числа освоенных пока вентильных фотоэлементов являются кремниевые.

Для изготовления вентильного фотоэлемента нужна пластинка совершенно чистого кристаллического кремния. Для этого в расплаве кремния в высоком вакууме выращивается монокристалл (один кристалл большой величины) кремния. Из него вырезается пластинка нужной величины, имеющая электронную проводимость. Для образования запирающего слоя надо создать на кремнии зону с дырочной проводимостью. С этой целью одну из поверхностей селеновой пластинки покрывают бором и прогревают ее в вакууме. При этом атомы бора диффундируют в кремний на небольшую глубину и образуют зону с дырочной проводимостью. На границе между обеими зонами образуется *p-n* переход, т. е. запирающий слой. В заключение обе стороны пластины металлизируются.

Отдельные фотоэлементы можно соединять между собой последовательно и параллельно, составляя батареи на нужные напряжение и ток. При существующем уровне изготовления кремниевые «солнечные батареи» дают возможность в ясный солнечный день получить с одного квадратного метра до 50 *вт* электроэнергии и, следовательно, имеют к. п. д. около 6% — столько же, сколько паровые машины. Срок службы кремниевых солнечных батарей весьма велик. Кремниевые фотобатареи применяются для питания радиоаппаратуры и для других це-

лей. В частности, именно они используются для питания электроэнергией искусственных спутников и космических ракет.

Теоретически к. п. д. вентильных фотоэлементов может быть доведен до 50%. По-видимому, очень перспективны вентильные фотоэлементы из сульфида кадмия. По теоретическим подсчетам, батарея размерами 1,5 на 4 *м*, вмонтированная в крышу дома, даст столько электроэнергии, что ее будет достаточно для полного обслужива-



Фотоэкспонометр аппарата «Киев» - Вентильный фотоэлемент

Рис. 70.

ния небольшого (для одной семьи) дома освещением, отоплением, холодильными установками и пр.

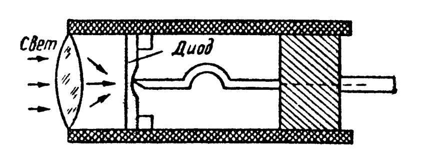
Известные многим стрелочные фотоэкспонометры представляют собой вентильные фотоэлементы (рис. 70). Даваемое ими напряжение зависит от освещения. Величина напряжения регистрируется прибором. Такие экспонометры дают возможность устанавливать выдержку фотосъемки совершенно точно.

Фотодиоды

Вентильные фотоэлементы не нуждаются в подаче на них электрического напряжения от постороннего источника. Они сами являются источником напряжения. Это является их ценнейшим качеством — они работают как преобразователи световой энергии в электрическую. Но их чувствительность к свету не особенно велика, хотя она и превосходит чувствительность обычных фотоэлементов.

Значительно большую чувствительность имеют фотодиоды, представляющие собой сочетание обычного полупроводникового диода с фотоэлементом. Основой такого

фотоэлемента является германиевый диод. В пластинке, вырезанной из кристалла германия, путем присадки соответствующих примесей создают две зоны — с дырочной и с электронной проводимостью. Между зонами образуется *n-p* переход или, иначе, запирающий слой, обладающий односторонней проводимостью. Одна поверхность пластинки обычным образом металлизируется, а на другую накладывается прозрачный проводящий слой. Пластинка помещается в герметическую оправу с окошком против прозрачного покрытия (рис. 71).



Фотодиод - конкурент фотоэлемента

Рис. 71.

Если на такой диод направить свет, то в нем, как в каждом вентильном фотоэлементе, произойдет образование свободных зарядов, которые начнут проникать через запирающий слой в том направлении, в котором это возможно, и создадут между обеими половинками диода определенное напряжение, величина которого зависит от силы света. Это напряжение образует в запирающем слое электрическое поле, препятствующее дальнейшему переходу зарядов. Если между обкладками диода включено какое-нибудь нагрузочное сопротивление, то через него будет течь ток, вследствие чего на его концах образуется разность напряжений.

Если к обкладкам диода приложено напряжение от постороннего источника тока в запирающем направлении, то большее количество зарядов сможет пройти через запирающий слой, потому что поле, созданное внешним источником напряжения, будет обратным полю, образовавшемуся в запирающем слое, которое и ограничивает переход зарядов. При этом через нагрузочное сопротивление будет течь ток большей величины, чем без внешней батареи или вообще внешнего источника напряжения. В соответствии с этим и падение напряжения на нагрузочном сопротивлении будет больше. В результате германиевые фотодиоды имеют очень высокую чувствительность, превышающую чувствительность лучших вентильных фотоэлементов раз в десять.

Максимум чувствительности германиевых фотодиодов находится в инфракрасной области спектра на волне около 0,0015 *мм*. Высокая чувствительность и очень небольшие размеры фотодиодов во многих случаях имеют решающее значение.

Терморезисторы

Мы знаем, что полупроводниковые материалы в отношении сопротивления электрическому току резко отличаются от проводников. Они отличаются характером изменения сопротивления при нагревании (у полупроводников сопротивление уменьшается, у проводников увеличивается) и величиной изменения (у полупроводников это изменение в десятки, сотни, а иногда и в тысячи раз больше, чем у проводников).

Эти особенности полупроводников дают возможность использовать их для чрезвычайно эффективного, простого и поэтому удобного способа измерения абсолютного значения температуры, и в особенности для измерения изменения температуры. Предназначенные для этого полупроводниковые приборы получили название терморезисторов (термосопротивлений).

Технике известны различные способы измерения температуры, но все они страдают различными недостатками. Общеизвестные термометры имеют особенно много недостатков. Они, например, непригодны для измерения очень низких и очень высоких температур. Интервал температур, в котором работают такие термометры, сравнительно очень мал. Далее — они непригодны для измерения на расстоянии, потому что отсчитывать их показания надо путем непосредственного наблюдения, они малочувствительны и позволяют в лучшем случае отсчитывать сотые доли градуса, их трудно приспособить для автоматического регулирования каких-либо цепей, они слишком инерционны и т. п.

Этими же недостатками полностью или частично страдают и другие способы измерения температур.

Терморезисторы могут быть сделаны чрезвычайно небольшими. Совсем маленькая бусинка уже вмещает в себе прекрасно работающий термистор. У столь малого прибора тепловая инерционность совсем незначительна. При прикосновении к измеряемому объекту такой термо-

резистор немедленно же показывает его температуру. Это, в частности, очень удобно для медицинских целей. Терморезистором можно моментально измерить температуру в любой точке тела. Терморезистор измеряет температуру электрическим способом — определяется его сопротивление электрическому току. Для этого терморезистор соединяется проводами с источником тока и измерительным прибором, который может быть калиброван непосредственно в градусах. Этот способ измерения позволяет производить замер температуры на большом расстоянии, потому что длина проводов практически не имеет значения. Поэтому в одном месте можно наблюдать за показаниями многих терморезисторов, помещенных там, где надо измерять температуру. Терморезисторы можно закопать в землю на разные глубины, поместить в воду, в печи и т. д.

Терморезисторы в соединении с реле или специальной схемой можно применить для автоматического регулирования в зависимости от температуры. При изменении температуры электрический ток в цепи терморезистора становится больше или меньше, что и приводит в действие соответствующие реле. Терморезисторы можно изготовить различнейшей формы и величины — применительно к нуждам и характеру измерений. В соответствии с этим промышленность выпускает терморезисторы разной величины и формы — в виде бусинок, «лепешек», сопротивлений и др.

Высокая чувствительность терморезисторов дает возможность производить измерения на расстоянии без непосредственного контакта с объектом, температура которого измеряется, включая даже измерения температуры небесных тел, для чего терморезистор помещается в фокус оптического прибора. На Луне, например, этим способом измеряется температура отдельных ограниченных участков лунной поверхности, на которые направлен телескоп.

Этим же способом при помощи терморезисторов можно обнаруживать на земной поверхности или на море объекты, имеющие разную температуру, можно осуществить своего рода «термолокацию». Интересны примеры, характеризующие фантастическую чувствительность такого рода применения термисторов. Тепло человеческого тела терморезистор «чувствует» на расстоянии полукило-

метра. Терморезистор определяет разницу в температуре всего 0,0005° — и это при помощи очень несложного устройства. Усложнив аппаратуру, можно увеличить чувствительность. Интересно, что терморезистор — один из немногих приборов, превосходящих по своим возможностям подобные органы живых существ. Знаменитая гремучая змея обладает чувствительным термоорганом, помогающим ей охотиться в темноте, она может обнаружить разницу температуры в 0,001°, т. е. уступает простейшей установке с термистором в 2 раза. Подобные органы имеют не только гремучие змеи. Они есть, например, и у кальмаров.

Коснувшись темы об обнаруживателях источников тепла, необходимо отметить, что у них есть определенные преимущества перед радиолокаторами. Объект, облучаемый радиолокатором, всегда может установить факт облучения, может определить направление на облучающую станцию и принять нужные защитные меры. «Термолокатор» ничего не излучает и никого ничем не облучает. Он использует излучение наблюдаемых объектов, поэтому его нельзя обнаружить.

Терморезисторы имеют большой срок службы — несколько тысяч часов, не нуждаются в каком-либо особом уходе. Это выгодно отличает их от ряда других приборов. Механическая прочность их высока.

Полупроводниковые диоды

История полупроводниковых диодов связана с историей изобретения радио, хотя причину односторонней проводимости контакта металла с кристаллом выдающиеся физики искали с 70-х годов прошлого столетия. Радиопередача производится при помощи электромагнитных колебаний высокой частоты, прием которых непосредственно не может быть обнаружен при помощи телефонных трубок, звонка или каким-либо другим низкочастотным индикатором. В радиоприемнике должен быть какой-то выпрямитель колебаний, который позволил бы выделить низкочастотные сигналы. Изобретатель радио А. С. Попов в своих первых приемниках использовал для этих целей когерер (металлические опилки в стеклянной трубке), изобретенный французским ученым Э. Бранли, опубликовавшим свои работы в 1890 г.

Но когерер не был удовлетворительным прибором. При его помощи можно было при проскакивании микроскопических искр между опилками только регистрировать факт приема электрическим звонком. Для приема сообщений он практически не годился. Для этого нужен был какой-нибудь другой прибор, который мог бы работать в сочетании с телефонными трубками, возможность использования которых была установлена сотрудниками А. С. Попова. Наиболее подходящими для этой цели оказались кристаллические детекторы: карборунд — сталь Дэнуди, цинкит—халькопирит Пикара и свинцовый блеск—сталь Тиссо.

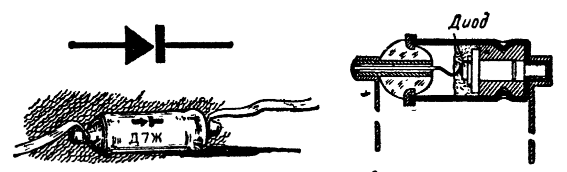
В каждую из этих выпрямительных пар входил кристалл, образующий точечный контакт односторонней проводимости с металлом или другим кристаллом. Односторонняя проводимость наблюдается не по всей поверхности кристалла. На поверхности кристалла приходится искать хорошую «точку». Как правило, чем меньше площадь соприкосновения кристалла с контактирующим металлом или другим кристаллом, тем легче найти хорошую точку. Качество точки зависело также от степени нажима. В большинстве случаев сильный нажим оказывался плохим. Найденная хорошая точка редко оказывалась долговечной. Она могла «сбиться» от сильного атмосферного разряда или от других причин, которые трудно установить. Неустойчивая работа детектора часто приводила к перерывам радиосвязи.

При изучении кристаллических детекторов сотрудник Нижегородской лаборатории О. В. Лосев в 1922 г. обнаружил интересное явление. Кристаллический детектор, поставленный в некоторые определенные условия работы, давал генерацию колебаний и усиливал их. В те годы уже получил распространение триод — электронная лампа, позволявшая усиливать принимаемые сигналы. В схеме Лосева использовался кристаллический детектор, который имел падающий участок характеристики и давал генерацию. Для этого на детектор надо было подавать некоторое напряжение—несколько вольт, точно подбирая его благоприятную величину при помощи потенциометра.

Кристадин Лосева привлек всеобщее внимание специалистов во всех странах не только потому, что он позволял усиливать сигналы, но еще и потому, что эту способ-

ность кристаллического детектора не умели объяснить. Прошло много лет, прежде чем физики сумели разобраться в этом явлении и сознательно использовать его в технике.

Примерно с середины 20-х годов кристаллический детектор был вытеснен из радиоприемников лампой, работавшей несравненно надежнее. Лампа долго не знала соперников, но по мере перехода к более коротким волнам ей становилось работать все труднее. И вот неожиданно для многих в самых ответственных радиоприемниках — приемниках радиолокационных станций — на важном месте (в качестве смесителя) снова появился кристаллический детектор. Этот детектор был создан на базе разработанной теории его работы, имел постоянную точку рабочего режима, не требовал регулировки, выпрямлял высокочастотные колебания и перегорал лишь от ошибочной перегрузки.



Германиевый диод - вечная двухэлектродная лампа без накала

Рис. 72.

В наши дни выпрямление колебаний требуется во многих точках цепи радиоприемника или телевизора. Выпрямление высокой частоты малой мощности требуется в гетеродинном смесителе (первом или втором детекторе), в цепях автоматического регулирования громкости, цепи оптического индикатора настройки и мощного выпрямителя для получения постоянного напряжения (анодных напряжений, цепей подмагничивания) при питании приемников от сети переменного тока), цепей глушения обратных импульсов развертки в телевизорах. Во всех этих случаях полупроводниковые диоды успешно заменяют ламповые диоды.

В соответствии с таким разнообразным применением в аппаратуре различного рода выпускаются диоды многих типов и на разную мощность, что важно для использования их в качестве выпрямителей (рис. 72).

О принципе работы диодов уже было рассказано. Односторонняя проводимость электронно-дырочного перехода объясняется образованием запирающего слоя. В качестве основного материала для изготовления полупроводниковых диодов теперь применяют почти исключительно германий и кремний. В германиевых диодах при прямой проводимости и напряжении всего в 0,5 *в* плотность тока достигает 1 *а* на 1 *см*². В обратном направлении при напряжении в несколько десятков вольт плотность тока не достигает даже 1 *ма* на 1 *см*².



Рис. 73.

Полупроводниковые диоды можно применять для выпрямления переменных токов очень большой величины — надо лишь позаботиться об их охлаждении, потому что при больших токах и малых размерах их велико выделение тепла. Теперь практически уже делаются выпрямительные элементы («диоды») на ток в тысячи ампер (рис. 73). Такие выпрямители по размерам гораздо меньше, чем применявшиеся раньше. Например, кремниевый диод диаметром около 22 *мм* способен выпрямить ток в сотни ампер, а его к. п. д. превышает 99%, причем работать он может при напряжениях до 1 000 *в*. Такие кремниевые вентили выпускаются в довольно большом количестве и успешно работают. Они долговечны, надежны, очень малы по размерам. Правда, они дают пульсирующий, а не строго постоянный ток, но во многих случаях применения это не служит препятствием.

В широких масштабах для выпрямления переменного тока используются более дешевые селеновые и меднозакисные выпрямители. По принципу действия и общей идее устройства они не отличаются от полупроводниковых диодов, о которых говорилось в этом разделе. Специальной формовкой и присадкой нужных химических элементов добиваются образования в них слоев с разной проводимостью и запирающим действием. Селеновые выпрямители широко распространены для зарядки аккумуляторов. Селеновые выпрямительные «столбики» часто применяются в современных радиоприемниках для

выпрямления переменного тока вместо кенотрона. Меднозакисные выпрямители тоже находят разнообразное применение, в частности в измерительных приборах.

Транзисторы

Полупроводники и полупроводниковые приборы обладают многими замечательными свойствами, но, вероятно, очень значительной частью своей современной популярности у широких масс они обязаны полупроводниковым триодам или, как их чаще называют, транзисторам. Очень многие успехи радиоэлектроники, начиная от выпуска популярных «карманных радиоприемников» и кончая аппаратурой искусственных спутников Земли и космических кораблей, оказались осуществимыми именно благодаря удивительным свойствам транзисторов.

Транзисторы, как и полупроводниковые диоды, могут быть двух видов: точечные — с точечными контактами, и плоскостные — с контактами, представляющими собой плоскость. Преимущественное распространение получили плоскостные транзисторы, поэтому мы и расскажем о них (точечные транзисторы практически теперь не применяются).

На противоположных гранях пластинки, вырезанной из кристалла полупроводника, в большинстве случаев германия или кремния, создаются слои с иным видом проводимости, нежели у самой пластины. Например, если проводимость пластины электронная, то на противоположных ее торцах создаются путем добавления примесных материалов слои с дырочной проводимостью. К основанию и торцовым слоям приварены выводные проводники (рис. 74). Основной полупроводник или базу мы будем обозначать буквой *Б*, а выводы от торцовых слоев соответственно *Э* — (эмиттер) и *К* — (коллектор).

Торцовые слои образуют с базой диоды, так как между каждым из слоев и базой образуется запирающий слой. К обоим диодам приложено напряжение батарей $Б_э$ и $Б_к$. Полярность их присоединения выбрана так, чтобы батарея $Б_э$ была присоединена в проводящем направлении — минус к базе, а батарея $Б_к$ в непроводящем направлении — плюс к базе.

Поскольку батарея $Б_э$ присоединена плюсом к эмиттеру, т. е. в проводящем направлении, то переход между эмиттером и базой имеет сравнительно малое сопротивление, поэтому даже небольшие изменения напряжения на эмиттере приводят к большому изменению тока в его цепи. При этом в базе будет появляться много «дырок». Процесс будет происходить так, как если бы эмиттер «впрыскивал» туда «дырки».

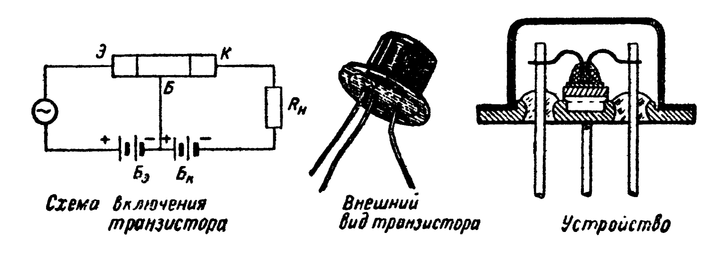


Рис. 74.

В цепи коллектора при его обособленном рассматривании, например при размыкании цепи эмиттера, тока не будет. К коллектору относительно базы приложено отрицательное напряжение. Это приведет к увеличению запирающего слоя. Тока в цепи совсем не будет или почти совсем не будет. Но появление в базе дырок «впрыснутых» туда эмиттером, изменит картину. Эти дырки будут притягиваться полем коллектора и направятся к нему, захватывая движущиеся навстречу электроны. В результате в цепи коллектора возникнет ток, величина которого будет определяться количеством перемещенных эмиттером дырок. Таким образом, характер тока в цепи коллектора определяется напряжением, приложенным между эмиттером и базой. Точно таким же образом анодный ток электронной лампы зависит от напряжения. приложенного между сеткой и катодом лампы. Поэтому транзистор может работать как усилитель электрических колебаний. При передаче части колебаний из цепи коллектора обратно в цепь эмиттера возникнет генерация — устройство будет генерировать электрические колебания.

Таким образом, транзистор выполняет основные функции электронной лампы — усиление и генерирование колебаний. У транзистора по сравнению с лампой есть много преимуществ: у него нет тока накала, и по общему потреблению электроэнергии питания аппараты с транзисторами раз в десять экономичнее подобных аппаратов с электронными лампами. Транзистор гораздо долговечнее электронной лампы. Транзисторы гораздо меньше и легче электронных ламп. Это обстоятельство помогает резко уменьшить размеры аппаратуры и уменьшить ее вес. Транзисторы также прочнее электронных ламп в отношении тряски, толчков и даже ударов.

Недостатком является то, что входная часть схемы транзистора при большом токе цепи эмиттера неизбежно должна быть малого сопротивления, а выходное (нагрузочное) сопротивление должно быть большого сопротивления. Во многих случаях это приводит к большим неудобствам при составлении схемы приемника или усилителя (в ламповых каскадах обратное соотношение сопротивлений более удобно).

На работе транзисторов в большей степени, чем на работе ламп, сказывается изменение температуры, так как сопротивление полупроводников сильно зависит от температуры. Приходится предпринимать всевозможные меры для уменьшения температурной зависимости. Значительным недостатком является неоднородность транзисторов. Трудно изготовить два совершенно одинаковых транзистора, во всяком случае это значительно труднее изготовления двух одинаковых по данным электронных ламп. Поэтому при замене выбывших из строя транзисторов иногда приходится выбирать подходящий из нескольких экземпляров.

Трудности массового выпуска транзисторов преодолеваются, и применение их расширяется с каждым днем. Об этом можно хорошо судить по портативным радиоприемникам (рис. 75). Немного лет назад их было очень мало, за ними «гонялись». Теперь же их выпускают уже так много, что они, подобно ламповым приемникам, всегда имеются в магазинах в большом выборе. Ламповые приемники нельзя сделать такими маленькими, как транзисторные. Транзисторы применяются в космической аппаратуре, где такие их качества, как экономичность долговечность, легкость, малые размеры, способность

переносить тряску и толчки, совершенно неоценимы. Транзисторы вместе с полупроводниковыми диодами применяются в установках, где количество усилительных или иных каскадов исчисляется тысячами или десятками тысяч, например в электронно-вычислительных машинах. Применение электронных ламп в таких установках, где их требуются тысячи или десятки тысяч, затруднительно. Это объясняется и огромным количеством энергии, нужной для питания огромного количества



Рис. 75.

ламп, и большими их размерами, и главным образом ненадежностью. Срок службы ламп невелик — в среднем не больше тысячи часов. Если в установке несколько тысяч ламп, то в процессе работы какое-то количество ламп всегда выходят из строя. Приходится иметь какой-то «горячий резерв» ламп, еще более увеличивающий общее число работающих ламп, умножающий потребление энергии, увеличивающий ее размеры, стоимость и пр. Полупроводниковые приборы позволяют строить такие установки гораздо более компактными, экономичными и более надежными.

Полупроводниковые триоды-транзисторы выпускаются на различные мощности и на различные частоты. Здесь в общих чертах есть такое же разделение по типам как и у электронных ламп. Есть специально высокочастотные транзисторы, есть оконечные для выходных каскадов, есть триоды для сверхвысоких частот и т. д. Конечно, в мире электронных ламп больше разнообразия, чем в мире транзисторов, — надо учесть, что история ламп насчитывает уже больше полвека, а транзисторы начали делать всего какой-нибудь десяток лет назад.

Термоэлементы

В 1821 г. германский физик Т. Зеебек открыл явление термоэлектричества. Оно состоит в том, что при нагревании спая двух разнородных проводников между другими их концами возникает разность напряжений.

Физическая сущность этого явления проста. Проводимость определяется наличием в материале свободных зарядов. У проводников подвижность зарядов при нагревании увеличивается. Если, например, проводимость электронная, то скорость движения электронов в нагретом месте увеличится и электроны начнут проникать в более холодный конец провода. Здесь движение их будет замедляться, они будут как бы «застревать» в холодном конце. Из холодного конца в горячий будет перемещаться гораздо меньше электронов, потому что подвижность их в холодном конце уступает подвижности в горячем конце. В результате на холодном конце образуется концентрация электронов, т. е. создастся отрицательный заряд.

В материалах с разной величиной проводимости степень этой концентрации будет неодинакова. Наибольшая разность потенциалов между холодными концами создастся в том случае, если у одного из материалов, составляющих спай, проводимость дырочная. Тогда на одном холодном конце будет создана концентрация электронов, а на другом — дырок.

Величина напряжения термоэлемента зависит от материала, из которого он изготовлен, и от температуры. Переход зарядов в холодный конец не может происходить бесконечно. По мере концентрирования зарядов на холодном конце возрастает поле, препятствующее дальнейшему переходу зарядов в этом направлении, отталкивающее их обратно. Величина напряжения термоэлемента зависит от материала, из которого он изготовлен, и от разницы в температуре горячего спая и холодных концов. При определенном перепаде температуры она определяется только материалом.

Если в состав термоэлемента входят проводники, то термоэлектродвижущая сила его невелика. Она обычно выражается сотыми и тысячными долями вольта на 100° С. Для таких термоэлементов сравнительно очень высокую термоэлектродвижущую силу имеет пара сурь-

ма-висмут — 0,011 *в* на 100° С. Пара медь-железо имеет на 100° С всего 0,001 *в*. Малая величина термоэлектродвижущей силы, которая развивается при нагреве спая двух проводников, очень ограничивала практические виды использования термоэффекта. В основном он использовался только для измерительных целей. Средством измерения были так называемые измерительные термопары. В вакуумированном баллоне такой термопары находится подогревающая нить, через которую пропускается измеряемый ток. Этот ток нагревает нить — тонкую проволочку из тугоплавкого металла. Эта нить в свою очередь нагревает место спая (вернее, точку спая) двух разнородных проводничков (рис. 76). Концы нити подогрева и концы термопары выведены к штырькам на цоколе, прикрепленном к баллону. Таким образом, измерительная термопара по внешнему виду несколько похожа на электронную лампу.

Для измерения к выводам термопары присоединяется милливольтметр, измеряемый ток пропускается через подогревающую нить. Термопара градуируется обычно вместе со своим измерительным прибором. Подобного рода приборы хороши тем, что позволяют измерять токи, как постоянные, так и переменные, любой частоты, вплоть до весьма высокой.

Практическое использование термоэффекта значительно расширилось после того, как развилась полупроводниковая техника. У многих полупроводниковых материалов термоэффект значительно сильнее, чем у проводников. Термоэлектродвижущая сила, развивающаяся при нагреве спая двух полупроводников, во много раз больше, чем у проводников. Причина этого очень проста. В полупроводниках при обычных температурах свободных зарядов нет или почти нет. Но при нагревании они появляются и приобретают подвижность. Движущиеся заряды будут проникать в холодный конец полупроводника и застревать там, тогда как движения зарядов в обратном направлении почти не будет. Для спая всегда можно подобрать такую пару полупроводников, у одного из которых проводимость электронная, а у другого дырочная. У такой пары на одном из холодных концов будут концентрироваться электроны, а на втором холодном конце — дырки. На первом будет отрицательный заряд, на втором — положительный. Величина напряже-

ния, которое может развить полупроводниковая термопара, и ток, какой она может пропустить, таковы, что уже может быть поставлен вопрос об использовании термоэлементов в качестве практических преобразователей тепла непосредственно в электрическую энергию. К. п. д. термоэлементов доходит до 7% и может быть еще несколько повышен. Для тепловых машин это не так плохо.

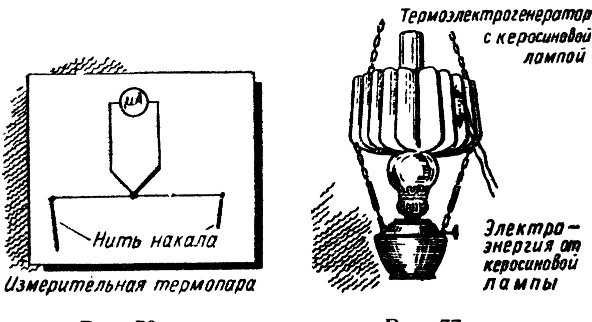


Рис. 76. Рис. 77.

Паровозы, например, используют топливо с к.п.д. порядка 4—8%. Тут никак нельзя сбрасывать со счетов и исключительную простоту термоэлектрических преобразователей, их неприхотливость, отсутствие вращающихся или вообще движущихся деталей и пр.

Вопрос о коэффициенте полезного действия термоэлектрических генераторов во многих случаях не имеет особенно большого значения, потому что часто для нагрева термоэлектрогенераторов используются не предназначенные специально для этого источники тепла. Например, термоэлектрогенераторы типов ТГК-3 и ТЭГК-2-2 подогреваются керосиновой осветительной лампой. Она дает столько же света, сколько всякая другая керосиновая лампа соответствующего размера (20 линий), и используется (если нужно) для освещения (рис. 77). То, что она попутно нагревает термоэлектрогенератор, не приводит к дополнительному расходованию керосина. Ее данные такие: емкость бака лампы 0,75 *л*, расход керосина составляет 60—70 *г/ч*. Это нормально для такой лампы. Термоэлектрогенератор может питать любой наш заводской батарейный радиоприемник, например

«Родина-52» и др. Термоэлектрогенератор дает два напряжения постоянного тока —2 *в* для накала ламп и 90 *в* для питания анодных цепей ламп. Электрическая мощность, отдаваемая термоэлектрогенератором, достигает примерно 2 *вт*. «Горячие» спаи полупроводникового термоэлектрогенератора подобного типа образуют внутри генератора цилиндрический канал, сквозь который пропускается стекло лампы. «Холодные» спаи находятся снаружи, для лучшего охлаждения к ним прикреплены алюминиевые ребра-радиаторы.

Нагрев термоэлектрогенераторов можно производить различными источниками тепла. Например, во время последней войны для партизан делали термоэлектрогенераторы, получавшие нагрев от костра. Термоэлектрогенераторы делают на мощность примерно до 10—15 *вт*. На бо́льшие мощности выгоднее применять электрогенератор с обычным двигателем, например бензиновый, имеющий больший к.п.д.

Есть установки более современные. Наши метеорологи получают термоэлектрогенераторы «Бета-1» с атомным подогревателем, их мощность доходит до 200 *вт*. А в конце 1964 г. наши газеты оповестили о новом достижении советской науки — создании электрогенератора с поэтическим названием «Ромашка». Так назван прямой преобразователь тепла в электроэнергию, представляющий собой атомный нагреватель с полупроводниковым термоэлектрогенератором. Мощность его 500 *вт*.

Тепловые насосы

В 1834 г. французский ученый Ж. Пельтье заметил, что при пропускании через спай термоэлемента тока от постороннего источника происходят нагревание или охлаждение этого спая в зависимости от направления тока. В 1838 г. это явление очень тщательно обследовал петербургский академик Э. Ленц, прославившийся многими замечательными работами в области физики.

Исследования показали, что дополнительное количество тепла, выделяющееся в месте спая при пропускании через него тока от постороннего источника, равно тому, которое нужно сообщить спаю для возбуждения такого же тока в соответствии с к.п.д. термоэлемента.

При пропускании тока через спай в направлении, в каком течет ток при его нагревании, спай дополнительно нагревается; при пропускании тока обратного направления — охлаждается.

Таким образом, например, при пропускании тока в нагревающем направлении в спае выделяется больше тепла, чем мог бы создать в обычных условиях ток такой величины. Это дополнительное тепло получается за счет охлаждения второго спая, отнимающего поэтому тепло от окружающей его среды. Получается то, что называют тепловым насосом. «Насос» забирает тепло у охлаждаемого спая и отдает его через нагревающийся спай. Значит, лишнее тепло получается за счет охлаждения среды, в которой находится охлаждаемый спай, — обычно это бывает внешний воздух или вода.

При пропускании тока в обратном направлении происходит охлаждение спая, а забранное тепло отдается воздуху или воде, окружающим второй спай, т. е. например, наружному воздуху. При помощи такого теплового насоса можно, скажем, зимой обогреваться за счет тепла, имеющегося в наружном воздухе или водопроводной воде. В итоге работы подобного устройства этот воздух или вода будут еще более охлаждены, но зато в помещении станет теплее (а летом соответственно наоборот — наружный воздух будет еще более нагреваться, а воздух в помещении охлаждаться).

Теоретически к.п.д. таких установок может быть высок (до 90%), т. е., затрачивая, например, на нагревание комнаты 100 *вт*, можно получить такой эффект, как будто бы было затрачено 1 квт. Весь этот «лишек» будет получен путем охлаждения наружного воздуха, за что платить не нужно. Практически такой высокий к.п.д. пока не получается, но в хороших установках он доходит до 60, т. е., затрачивая 40 *вт* электроэнергии, можно получить такой эффект, как будто бы ее было затрачено 100 *вт*.

Этот принцип, между прочим, заложен и в устройство полупроводниковых холодильников (рис. 78).

Физически явление дополнительного нагревания и охлаждения можно упрощенно представить себе так.

При подведении к «нагревающемуся» спаю электрического поля от постороннего источника в спае начинается движение зарядов, которое вызовет его нагрев. Но

при его нагреве, как мы знаем, в нем вследствие термоэффекта возникнет движение зарядов в ту же сторону. В результате зарядов будет двигаться больше, и скорость их движения возрастет, что и является дополнительным нагреванием.



Рис. 78.

При приложении поля в обратном направлении оно будет противодействовать движению зарядов в спае, нормальному при данной температуре, и движение зарядов замедлится. А замедление движения зарядов является охлаждением, поскольку мерой нагрева служит скорость движения частиц. Температура спая окажется ниже температуры окружающих предметов (окружающего воздуха), и спай начнет потреблять тепло извне, т. е. будет охлаждать внешнее пространство.

Ионные приборы

Для нормальной работы лампы необходимо, чтобы никакие причины, кроме напряжения на электродах, не влияли на величину анодного тока.

Такое положение может быть обеспечено только при хорошей откачке лампы. Если газ удален из баллона лампы, то в ней не могут неожиданно появиться «лишние» заряды сверх тех, которые излучаются катодом и пропускаются сеткой.

Если в баллоне лампы есть газ, то ее стабильная работа может быть нарушена. Среди атомов или молекул газа всегда есть некоторое количество ионов, имеющих положительный или отрицательный заряд. Причиной появления этих ионов являются космические лучи. Элементарные частицы огромной энергии, образующие космические лучи, пронизывают лампу и, встречая на своем пути атомы или молекулы газа, ионизируют их. Эти ионы стремятся возвратиться в свое исходное нейтральное состояние и захватить недостающий электрон или осво-

бодиться от излишнего, сверхкомплектного, но в баллоне все время образуются новые ионы.

Так как к электродам лампы приложено напряжение, то ионы начинают двигаться в соответствии со знаком поля и собственным зарядом. Они разгоняются полем и сталкиваются с другими частицами газа. Какое-то количество этих частиц будет тоже в результате столкновения ионизировано и в свою очередь начнет разгоняться полем и ионизирует какое-то количество частиц газа. Может образоваться лавинообразное нарастание числа ионов, что равноценно резкому увеличению тока, текущего через лампу; лампа выйдет из-под контроля.

Но в некоторых случаях это явление может быть с выгодой использовано. Получить большой анодный ток за счет эмиссии катода трудно — потребуется большой катод, на нагрев которого нужно много энергии. Ионизация газа в лампе может дать возможность получить большой ток без увеличения эмиссии катода.

Лампы такого типа называют ионными или газоразрядными. Газ в них содержится под малым давлением. Если газа в баллоне будет много, то ионизированные частицы будут слишком часто сталкиваться с атомами и молекулами газа и в промежутках между столкновениями не будут успевать разогнаться до скорости, необходимой для ионизации. Если газа в лампе слишком мало, то столкновения будут слишком редки и процесс ионизации не достигнет нужного масштаба. Это не будет, однако, усилительная лампа, ибо ток лампы можно будет устанавливать только для двух состояний: нулевой (ничтожно малый) или полный (максимально допустимый).

Результатом столкновения ионов и электронов с частицами газов бывает не только их ионизация. При некоторых столкновениях энергии может оказаться недостаточно для ионизации частицы, но частица может быть приведена в возбужденное состояние, т. е. один из ее электронов перейдет на более удаленную от ядра орбиту. Частицы не могут долго пребывать в таком состоянии — электрон вернется на свою орбиту, отдав избыток энергии в виде излучения фотона видимого света, поэтому работа газонаполненных ламп характерна не только увеличением тока, текущего через лампу, но и свече-

нием газа в баллоне. Цвет свечения зависит от рода наполняющего лампу газа. Например, пары ртути дают зеленовато-фиолетовое свечение, неон—красное, аргон — синее, криптон — зеленое.

В прошлом важнейшей областью применения газоразрядных ламп было выпрямление переменного тока для питания аппаратуры или для различных технических целей, например для зарядки аккумуляторов. Для больших токов применялись ртутные выпрямительные колбы, которые пропускали ток в 10 *а* и больше. Если не были нужны очень большие токи, то применялись газотроны и тиратроны. Газотрон — двухэлектродная газонаполненная лампа, тиратрон — принципиально такая же лампа, но с сеткой, которая служит не для управления током, как в электронных лампах, а для облегчения зажигания лампы, т. е. доведения ее до режима газового разряда. Все эти лампы постепенно утрачивают свое значение, их вытесняют полупроводниковые приборы, меньшие по размерам, более надежные, долговечные и т. п.

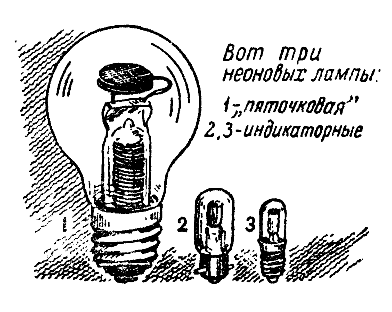
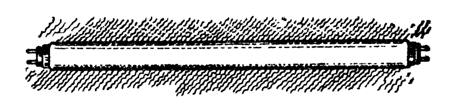


Рис. 79

Газоразрядные приборы применяются и для других целей. Например, в радиоэлектронике и различных областях довольно широко используются индикаторные неоновые лампочки (рис. 79) разных размеров. Они применяются, например, для индикации анодного напряжения в батарейных приемниках типа «Родина», в измерительных приборах, в пересчетных устройствах (например, для подсчета импульсов). Они «горят» известным всем красным светом. Применяются также газоразрядные стабилитроны — газовые делители напряжения.

Газоразрядные лампы очень широко применяются для рекламных целей и для освещения. Рекламные световые изображения и надписи общеизвестны. Значительная часть их красного цвета — с неоновым наполнением, но есть и других цветов — зеленые, синие и т. д., наполненные другими газами или их смесью.

К газоразрядным приборам принадлежат и получающие все более широкое распространение люминесцентные лампы или, как их иногда называют, лампы дневного света (рис. 80). В этих лампах происходит двойное преобразование. Прежде всего, в них происходит газовый разряд в парах ртути, при этом выделяются в большом количестве ультрафиолетовые лучи. А эти лучи в свою очередь заставляют светиться люминофор, которым покрыт изнутри баллон лампы. Свечение люминофора и используется для освещения. Стекло баллона не пропускает во внешнее пространство ультрафиолетовые лучи, так что лампа в этом отношении безвредна. Но подобные лампы делают и без люминофора, со стеклом, пропускающим ультрафиолетовые лучи (например, увиолевым стеклом). Такие лампы светят очень слабо, но зато являются довольно сильным источником ультрафиолетовых лучей. Они применяются, например, для уничтожения бактерий — бактерицидные лампы.



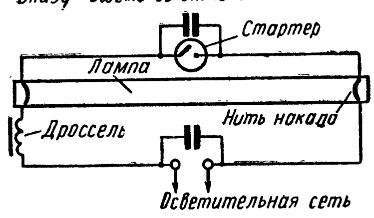


Рис. 80.

В газоразрядных приборах может образовываться так называемая плазма — высокоионизированный газ с чрезвычайно большим числом свободных электронов. Это очень интересное состояние вещества, которое называют четвертым состоянием (после твердого, жидкого и газообразного). Высшие слои атмосферы Земли, которые мы называем ионосферой, тоже представляют собой плазму — смесь ионизированных атомов и электронов. Ионизируют атомы газов как космические лучи, так и солнечное излучение, в частности ультрафиолетовое излучение. Плазма является хорошим проводником электрического тока.

В магазинах электротоваров встречаются в продаже

небольшие ящики — комнатные ионизаторы (аэроионизаторы), оздоровляющие воздух в закрытых помещениях. Эти приборы представляют собою генератор аэроионов — отрицательных ионов воздуха. Образование ионов происходит при стекании зарядов с пластины, снабженной остриями. На пластину подается отрицательное напряжение около 70 *кв*. Образующиеся при этом положительные ионы притягиваются пластиной, а отрицательные выдуваются вентилятором в помещение.

В баллонах с газом может быть в зависимости от анодного напряжения несколько типов разрядов: тихий разряд, увеличивающийся до тока насыщения при малом напряжении и до пробоя при достаточном анодном напряжении. При достаточно высоком напряжении раз начавшийся разряд будет продолжаться и при прекращении действия ионизатора, ибо начавшийся разряд сам будет создавать необходимые для его поддержания ионы. Этот тип разряда называется самостоятельным разрядом. При достаточной плотности газа вслед за пробоем устанавливается дуговой разряд.

При накаленном катоде и достаточном напряжении ток через газ может превратиться в лавину электронов и ионов, во много раз превышающую по силе ток насыщения. Разрушающее действие разряда можно предотвратить — сократить уменьшением времени разряда (иначе говоря, использовав известный импульсный режим с большими интервалами покоя).

Электронные лампы-вспышки

Радиоэлектроника оказывает человеку помощь в самых различных областях его деятельности, подчас таких, которые кажутся очень далекими от электроники. Примером может служить фотография. Она существует уже более ста лет, и все же до самого последнего времени фотографы испытывали много затруднений из-за недостаточного совершенства техники этого дела:

Каждый имевший дело с фотографией знает, как трудно бывает увязать свои фотонамерения со светом. Техника билась над этой задачей десятки лет. Были предложены, например, вспышки магния. Способ хорош своей автономностью, но очень неудобен: получается довольно сильный и небезопасный взрыв, вспышка сопро-

вождается выделением густого дыма, заволакивающего помещение, подготовка вспышки довольно длительна, поэтому частые снимки невозможны, приборы, применяющиеся для вспышек, склонны к «осечкам», и т. д. Делались попытки применить электролампы-вспышки, работающие от сети. Внутри баллона лампы сгорал комок фольги. Эти лампы не были удобны. Они часто не вспыхивали, пользование ими связано с осветительной сетью, носить с собой достаточный запас ламп из-за их больших размеров невозможно, а на каждую вспышку требовалась новая лампа. Довольно широкое применение получили так называемые перекальные фотолампы. У такой лампы укороченная нить накала, горит она с перекалом, а при этом светоотдача чрезвычайно возрастает. Но зато срок службы лампы укорачивается во много раз и ограничивается всего немногими часами, они нуждаются в громоздких отражателях-софитах, пользование ими неудобно.

Задача получения яркой световой вспышки для фотосъемки была решена только электроникой. Была создана электронная лампа-вспышка, дающая свет огромной силы со спектром, очень близким к солнечному, пригодная для нескольких тысяч вспышек, работающая от автономного питания, которую можно использовать где угодно в любое время при интервале между вспышками всего в несколько секунд. Такая лампа вместе с отражателем крепится обычно на самом фотоаппарате и включается спусковым приспособлением фотоаппарата.

Электронная импульсная лампа-вспышка представляет собой небольшую П-образную стеклянную или кварцевую трубку, наполненную ксеноном (рис. 81). Для подведения напряжения в конце трубки впаяны два электрода, один из которых служит анодом, другой катодом. К аноду и катоду подводится постоянное напряжение 200—300 *в*, которое называется напряжением зажигания. Если в таких условиях наполняющий лампу газ ионизировать, то в ней произойдет мощный разряд, причем значительная часть энергии выделится в виде световых лучей.

Ионизация газа осуществляется в большинстве случаев присоединением к надетому на трубку металлическому хомутику высокого напряжения — около 10 *кв*. Такое напряжение возникает на вторичной обмотке транс-

форматора при замыкании в момент съемки его первичной обмотки на напряжение батареи. После возникновения ионизации сопротивление трубки резко уменьшается, вследствие чего приложенное к ее аноду и катоду напряжение создает разряд, который будет продолжаться до тех пор, пока напряжение зажигания не станет меньше определенной величины — нескольких десятков вольт (пока не разрядится питающий конденсатор).

Чтобы уберечь батарею и лампу от гибели в режиме короткого замыкания, напряжение на лампу-вспышку подается от конденсатора емкостью 800 *мкф*, который заряжается от батареи.

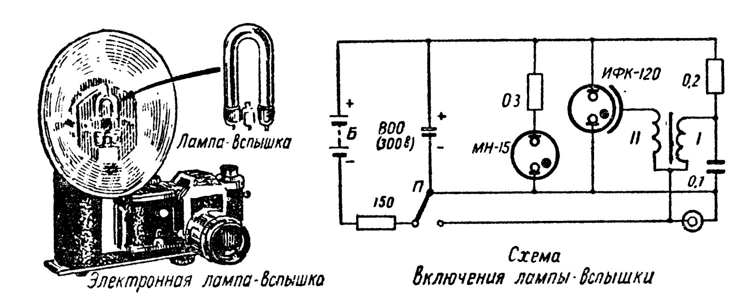


Рис. 81.

Окончание накопления нужного для работы заряда определяется зажиганием неоновой индикаторной лампочки. Разряд конденсатора при вспышке происходит за 0,0005 *сек* (1/2000 *сек*). После этого газовый разряд в лампе прекращается и может быть возобновлен лишь после заряда конденсатора. Яркость вспышки вполне обеспечивает возможность моментального снимка. Вообще при наличии прибора с импульсной лампой не приходится выбирать выдержку. Она определяется продолжительностью вспышки — в среднем одной двухтысячной секунды.

Столь малая выдержка позволяет производить такие снимки, которые до появления импульсных приборов-вспышек не были возможны, — в частности, например, четкий снимок прыгуна в момент его погружения в воду и т. п.

Промышленностью изготовляются ионные лампы-вспышки с очень коротким импульсом вспышки, хотя и с не очень мощной вспышкой. Частоту вспышек при несложной радиосхеме можно регулировать в весьма широких пределах. С помощью такого регулируемого по частоте импульсного осветителя можно наблюдать движущиеся механизмы, используя стробоскопический эффект. Изображения тела или детали, совершающие периодические движения, кажутся неподвижными или движущимися медленно. Например, можно наблюдать в любом как бы замедленном движении ход быстродействующего клапана работающего автомобильного двигателя, поведение несбалансированного вращающегося механизма. Можно рассмотреть качество печати на быстродвижущейся рулонной бумаге печатной машины без ее остановки.

При достаточной яркости вспышки (чувствительности кинопленки) можно снимать и разовые (непериодические) движения на кинопленку, происходящие с большой скоростью. Таким путем были расшифрованы многие явления природы — например, последовательность движения крыльев птиц и насекомых. Движение пули при ударе о препятствие, падение капли могут быть изучены детально при медленном просматривании киноленты или ее отдельных кадров. Скорость съемки может доходить до десятков и сотен тысяч кадров в секунду, так как это легко выполнимо при электрической регулировке длительности и частоты вспышек лампы ионного разряда (и совершенно неразрешимо с помощью механических приспособлений).

Рентгеновские трубки

Рентгеновская аппаратура широко распространена в медицинских учреждениях, применяется она и в лабораторно-заводской практике, поэтому она теперь достаточно общеизвестна. Но далеко не все знают, как и на основе каких физических принципов получаются в этой аппаратуре рентгеновы лучи. Между тем, рентгеновская трубка — источник этих лучей — представляет собой одну из разновидностей электронной лампы, и рентгеновы лучи могут возникать в качестве побочного явления в различных электронных лампах.

Что представляют собой рентгеновы лучи? Это электромагнитные колебания с частотой от $6 \cdot 10^{10}$ *Мгц* до $7{,}5 \cdot 10^{13}$ *Мгц* (длина волны от 0,005 до 0,000004 *мк*). Фотоны рентгеновского излучения обладают большой энергией, большей, чем фотоны видимых световых лучей или ультрафиолетового излучения.

В рентгеновских трубках рентгеновское излучение возникает как следствие двух причин.

Первой причиной служит торможение быстро движущихся электронов. Энергия электрона, как и любой другой частицы, с увеличением скорости движения возрастает. При резком торможении излишек энергии отдается электроном в виде электромагнитного излучения, частота которого зависит от энергии электрона. Для излучения рентгеновых лучей нужна очень большая скорость электронов, поэтому в рентгеновских трубках электроны разгоняются высоким напряжением. Когда эти электроны попадают на анод, то они сталкиваются с атомами и свободными электронами и резко затормаживаются. При этом избыток энергии отдается ими в виде рентгеновского излучения. Его можно назвать тормозным рентгеновским излучением.

Если энергия электрона очень велика, то он при столкновении с атомом может часть своей энергии излучить в виде рентгеновых лучей, а другую часть передать одному из электронов внутренних оболочек атома. Этот электрон, получив дополнительную энергию, перескочит на соответствующую по энергии более удаленную от ядра оболочку. Но атом, как и всегда, стремясь вернуться в наиболее устойчивое невозбужденное состояние, немедленно возвратит электрон на ту оболочку, на которой он находился раньше, а избыток энергии будет отдан в виде фотона рентгеновского излучения.

В трубках для получения рентгеновых лучей имеется (рис. 82) источник электронов — катод *К* и анод *А*, о который с силой ударяется электронный поток. Чтобы электроны не встречали преград на пути и могли разогнаться до большой скорости, трубка должна быть тщательно откачана, иначе электроны, сталкиваясь с частицами газа, будут терять скорость. Наконец, чтобы разгон электронов был большим, анодное напряжение должно быть велико. Анод имеет скошенную поверхность, чтобы рентгеновы лучи направлялись в одну сторону. Вылетаю-

щий из катода пучок электронов фокусируется простейшими способами, чтобы излучение катода было сконцентрировано на плоском аноде. Обычно катод для этой цели помещается внутри цилиндра. Откачка производится так, чтобы давление внутри баллона не превышало 10^{-7} *мм рт. ст.* Напряжение на аноде трубки обычно составляет несколько десятков тысяч вольт, а иногда и сотен тысяч вольт.

На аноде рентгеновских трубок выделяется много тепла. Поэтому даже у небольших трубок аноды делают из тугоплавких металлов, например из вольфрама, и для

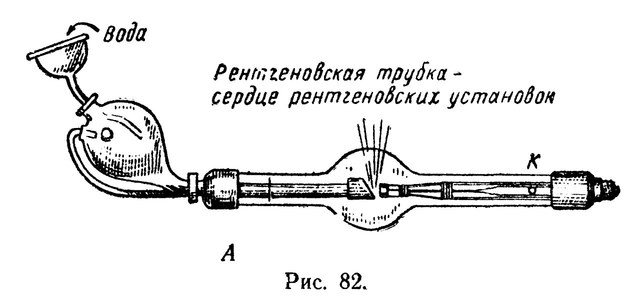


Рис. 82.

усиления охлаждения применяют ребристые радиаторы. У более мощных трубок применяют водяное охлаждение. В трубках средней мощности оно бывает автономным, а очень мощные трубки соединяются с водопроводом и охлаждаются проточной водой.

Рентгеновы лучи благодаря своей проникающей способности позволяют разглядеть внутренние части живого организма, применяются они и для лечебных целей, так как оказывают сильное биохимическое действие на живую ткань. В промышленности они применяются для просвечивания деталей и материалов с целью выявления внутренних недостатков. Существуют также методы рентгеновского анализа для определения структуры кристаллической решетки и т. п. Часто используется способность рентгеновых лучей вызывать почернение фотопластинок. Можно встретить рентгеновский аппарат даже в обувном магазине для проверки заполнения ногой приобретаемой обуви. Для некоторых целей вместо рентгеновых лучей используются заменяющие их гамма-лучи (еще более короткие волны). Получение гамма-лучей

проще, так как они могут быть получены от небольшого количества радиоактивного вещества. Удобством при этом является непрерывное действие радиоактивного вещества, не требующего никаких источников тока, неудобством — опасность воздействия на живой организм при несоблюдении правил технической эксплуатации.

Используется иногда и светящаяся краска, которой покрывали, например, стрелки и цифры на часах. К этой краске примешивается какое-нибудь радиоактивное вещество, излучение которого и вызывает свечение люминофора краски. В том количестве светящейся краски, которое нанесено на стрелки и цифры ручных часов, содержится столько радиоактивного вещества, чтобы доза облучения не вызывала вредного воздействия на кожу носящего такие часы человека. Последние годы использование радиоактивных красок резко сокращено.

Существовало подозрение, что телевизионные трубки являются источниками рентгеновского излучения, ибо на аноды трубок подается высокое напряжение — около 10 *кв*. Многократные исследования различных телевизоров показали, что рентгеновского излучения у них нет. Эта проверка делалась всеми способами: и очень чувствительными радиометрами, и дозиметрами, и закладыванием фотопленки, завернутой в непроницаемую для света бумагу. Пленка после длительного лежания возле самой трубки совершенно не засвечивается.

Лазеры

Начиная со второй половины прошлого века, в особенности в послежюльверновский период научно-фантастической литературы, внимание писателей, посвятивших себя этому жанру, все чаще привлекали всевозможные генераторы разящих лучей, или «лучей смерти». В менее отдаленные десятилетия эта тема со страниц романов и повестей перекочевала уже на газетные полосы в виде сенсационных сообщений об изобретении то здесь, то там таких лучей, якобы испытывавшихся в обстановке строжайшей секретности представителями генеральных штабов.

Но генераторы могущественных лучей не перекочевывали с книжных страниц в действительность, а газетные сенсации неизменно оказывались утками. Страшные лу-

чи не давались в руки. И лишь в наши дни техника, вооруженная результатами длительного изучения физики твердого тела и поведения элементарных частиц, сделала первые конкретные шаги в области создания генераторов лучей большой мощности.

В последние годы распространилось и приобрело популярность новое слово—«лазер». Оно составлено из первых букв английского названия прибора: Light amplification by stimulated emission of radiation, что можно перевести как «усиление света посредством стимулированного излучения». Так было названо новое средство радиоэлектроники, которое сулит исключительно важные перспективы.

Опыт различнейших областей техники показал, что очень эффективным способом увеличения какого-либо воздействия является способ накапливания Например, в только что рассмотренных приборах с импульсными лампами-вспышками заряд конденсатора, накапливаемый в течение нескольких секунд, расходуется меньше чем в тысячную долю секунды. В результате получается разряд, хотя и кратковременный, но огромной мощности. Накапливание заряда используется в передающих телевизионных трубках. Накапливание сигнала дает возможность выделять в сверхчувствительных приемниках нужные сигналы из превышающих их помех и т. п.

Этот же принцип используется и в лазерах. Мы хорошо знаем, что происходит в веществе, когда оно излучает свет (стр. 22). Накапливание энергии в этом случае можно было бы произвести так: надо добиться каким-либо способом того, чтобы электроны, перескочившие на оболочки с большим уровнем энергии, задерживались там до поры до времени, а когда таких электронов накопится много, то заставить их одновременно возвратиться на свои обычные места и, следовательно, всем сразу вызвать излучение фотонов. Если это проделать в достаточно большом масштабе и излученные фотоны собрать в узкий пучок, то можно получить очень мощный луч.

Оказывается, есть материалы, способные на это. К их числу принадлежат, например, кристаллы рубина, берилла, сапфира, флюорита кальция и др. Особенно удобны для этой цели кристаллы рубина. Их производство освоено достаточно хорошо, и они могут быть изготовлены нужных размеров и нужного качества. Кристалл нужен

довольно большой величины. Например, в одной из конструкций лазера кристалл имел цилиндрическую форму. Длина цилиндра 7 *см*, диаметр — 3 *см* (для полупроводниковых лазеров чаще используется кубик кристалла со стороной всего 0,5 *мм*). Естественно, что подбор безукоризненного кристалла такой величины среди природных рубинов практически невозможен, в особенности учитывая то, что чрезвычайно жесткие требования предъявляются и к составу кристалла. Он должен представлять собой окись алюминия с примесью трижды ионизированных (лишенных трех электронов) атомов хрома в количестве 0,1%. Кристаллы с необходимыми данными приходится выращивать искусственно в лабораториях, что, между прочим, также представляет огромные трудности.

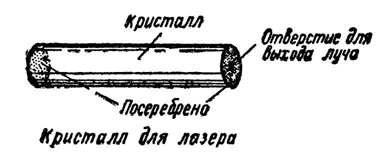


Рис. 83.

Исключительно сложна обработка кристалла. Его торцовые поверхности должны быть точно перпендикулярны к оси цилиндра и, следовательно, строго параллельны друг другу. Допустимую неточность можно характеризовать такой величиной: разница в расстоянии между центрами торцовых поверхностей и их краями не должна превышать пять поперечников атома или, выражая то же самое более зримыми количествами, не должна превышать одной десятитысячной доли толщины паутинной нити. Невероятно высокие требования предъявляются и к гладкости полировки торцовых поверхностей. Изъяны поверхности не должны превышать по высоте или глубине сотой доли микрона (толщина паутинной нити — 5 *мк*).

По окончании подготовки кристалла торцы его покрываются зеркальным слоем (серебрятся), в середине одного из них делается небольшое отверстие для выхода луча (рис. 83).

Работает лазер так. Для возбуждения атомов кристалла он освещается сильным светом (лампой «накачки»), т. е. облучается фотонами (рис. 84). Фотоны возбуждают атомы, отдавая свою энергию электронам наружных оболочек. Они заставляют их перескочить на более удаленную от ядра оболочку из числа «разрешен-

ных». Особенностью данного кристалла является то, что электроны возбужденных атомов не совершают немедленно обратный переход на прежнее место, а задерживаются на своих новых местах. Так продолжается до тех пор, пока примерно половина всех атомов перейдет в возбужденное состояние. По достижении этого предела все перескочившие электроны одновременно возвращаются обратно, излучая при этом фотоны. Зеркальные поверхности торцов служат для отражения фотонов в выходное отверстие в переднем торце. Фотоны, не попавшие сразу в это отверстие, претерпевают отражение от торца

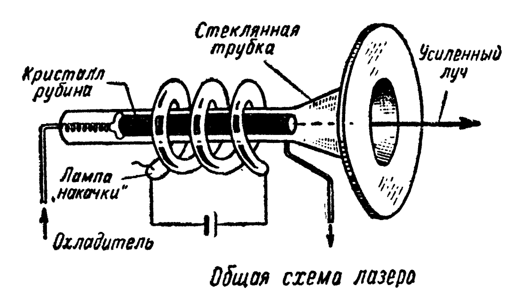


Рис. 84.

к торцу, пока не отразятся в отверстие. Так как скорость света огромна, а кристалл очень мал, то это происходит очень быстро. Кристаллы рубина излучают фотоны, соответствующие частоте 430 *Тгц* (терагерц — 10^{12} *гц*) или волне 0,7 *мк*, лежащей в самой длинноволновой части видимого нами светового спектра. Кристаллы фтористого кальция с примесью урана излучают на волне 2,5 *мк* (120 *Тгц*), т. е. в области невидимых нами инфракрасных лучей.

После излучения лазер начинает снова накапливать возбужденные атомы с тем, чтобы через непродолжительное время снова «выстрелить» лучом.

Луч кристалла получается остронаправленным, но его различными способами, в том числе и оптическими, можно сконцентрировать еще более в очень тонкий луч диаметром примерно всего в 0,1 *мм*. Продолжительность излучения весьма коротка, но оно все же производит нагрев по крайней мере до 7—8 тыс. градусов. При такой температуре испаряются все вещества. Поэтому луч ла-

зера прожигает отверстие в чем угодно, до алмаза включительно.

Лазеры — приборы совсем новые. Вся их история насчитывает всего несколько лет. Существующие лазеры — это только экспериментальные образцы (рис. 85), но уже и теперь ясно, что их ждет большое будущее, что они найдут применение в самых разнообразных областях и науки и техники. Вот некоторые из них.

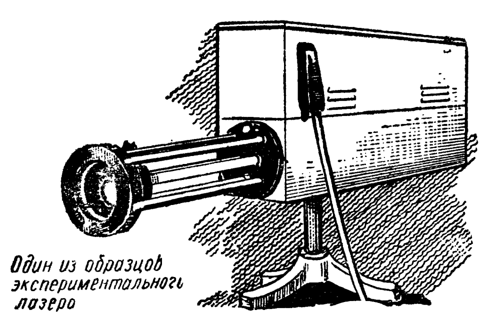


Рис. 85.

Лазеры можно использовать для связи разных видов — например, для эхолокации — посылки сигналов и улавливания их отражения от цели, т. е. того же, что делает радиолокация, но при помощи световых лучей. Почин в этом отношении был сделан у нас в конце 1963 г. Крымской астрофизической лабораторией вместе с физическим институтом им. Лебедева АН СССР. Лазер был помещен в фокусе 2,6-метрового телескопа, наведенного на Луну. Сигналы лазера покрывали сравнительно небольшой участок лунной поверхности. Отраженные от него лучи улавливались в Крыму другим телескопом, в фокусе которого находилось светочувствительное устройство.

Опыт закончился удачно, отраженные сигналы были приняты, хотя и были крайне слабы. Ослабление принимаемых сигналов по сравнению с посылаемыми было в 19^{19} раз. И, несмотря на это, расстояние от Земли до облученных участков лунной поверхности оказалось определенным гораздо более точно, чем при использовании другого любого способа. Усовершенствовав установку, можно будет точность измерений значительно повысить.

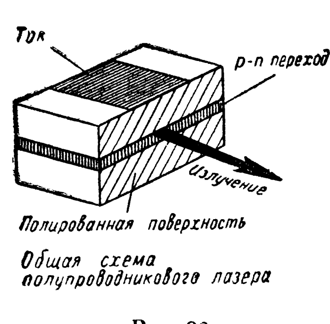
Для космической радиосвязи лазеры, пожалуй, более перспективны, чем радио. Дальность связи, как известно, в очень большой степени определяется возможностью концентрировать излучаемую энергию в узкий (тонкий) пучок. Луч лазера очень просто фокусируется так, что круг, освещаемый им на поверхности Луны, имеет в поперечнике всего 16 *км*. В дальнейшем угол расхождения пучка можно будет уменьшить. Для радиоволн такие концентрации энергии в луче недоступны. Например, при волне 3 *см*, чтобы добиться такой малой расходимости луча, какую лазер дает уже теперь, пришлось бы построить антенну диаметром около 3 *км*, что совершенно невыполнимо. А для более длинных волн антенны должны быть еще больше.

Луч лазера ослепительно ярок. Ослепительно — в полном смысле этого слова, так как если он попадает в глаз, то глаз будет ослеплен. Сфокусированный луч лазера обычного современного типа, т. е. лазер первых экспериментальных типов, виден невооруженным глазом на расстоянии светового года, другими словами — на расстоянии 9 трлн. *км*, что примерно в 750 раз больше поперечника нашей солнечной системы (диаметра орбиты хорошо известной нам планеты Плутона). При помощи бинокля его можно разглядеть с ближайшей к нам звезды — Проксима из созвездия Центавра, расстояние до которой составляет около 4,2 световых лет. Между тем имеющийся уже опыт показывает, что радиосвязь на расстояниях до ближайших к нам планет солнечной системы представляет собой большую трудность и не получается уверенной.

Многообразны могут быть промышленные применения лазеров, главным образом как средства обработки материалов. Лазеры легко прожигают отверстия в толстых стальных плитах. При их помощи можно обрабатывать, резать, сверлить и пр. любой материал, можно производить мгновенное дозированное и локализованное нагревание до любой температуры и т. п. В литературе уже упоминаются десятки подобных видов использования лазеров. Обработка отверстия в алмазной фильере обычными способами длится 2 *ч*, а лазер делает его за 0,1 *сек*. Лазер проделывает отверстия диаметром 7 *мк* — это толщина паутинной нити. Уже есть станки, носящие непривычное и странное название — импульсно-световой

станок. Так в одном нашем НИИ назвали станок, в котором средством обработки является лазер.

Наконец, впереди вырисовывается возможность осуществления при помощи лазеров еще одной старинной мечты фантастов — передачи энергии на расстояние без проводов. Тончайшим лучом лазера — лучом огромной концентрации энергии, очевидно, будет возможно передать ее на большое расстояние без всяких промежуточных устройств в виде проводов, волноводов и пр. Может быть, в первое время этот способ передачи энергии окажется целесообразно использовать лишь в отдельных исключительных случаях, например для космических кораблей, но даже и такая возможность представит исключительную ценность. Это будет таким же огромным завоеванием техники, каким в прошлом была открывшаяся возможность связи без проводов.



Общая схема полупроводникового лазера

Рис. 86

Основой лазеров могут служить не только кристаллы. Изготовлены экспериментальные жидкостные и газовые лазеры. Наиболее перспективны, по-видимому, полупроводниковые лазеры, созданные советскими учеными (рис. 86). Материалом полупроводниковых лазеров является чаще всего арсенид галлия (применяют также фосфид галлия, кремний с примесью индия, сурьмянистый индий). Полупроводниковый кристалл берется в форме куба, две его противоположные стороны отполированы и образуют объемный резонатор. В средней части кристалла образуется *n-p* переход, к верхней и нижней на рисунке граням подводится ток.

Под воздействием приложенного к кристаллу напряжения дырки и электроны движутся навстречу друг другу, и в *n-p* переходе происходит их рекомбинация (электрон заполняет дырку), причем излишек энергии излучается в виде кванта света. Чтобы этот процесс достиг крупных масштабов, надо пропускать через кристалл ток большой величины. Например, при кристалле в виде куба с размерами 0,5 *мм* пропускался ток 30 *а* при плотности

тока порядка 10^4 *а/см²*. Кристалл работает обычно при температуре жидкого азота (—196° С).

Полупроводниковый лазер имеет то преимущество перед лазерами других типов, что в нем происходит непосредственное превращение электрической энергии в световую, поэтому его к.п.д. велик. У рубиновых лазеров к.п.д. в лучшем случае достигает 5% (мощность излучения в сравнении с мощностью, затраченной на «накачку» лазера светом). У полупроводниковых лазеров к.п.д. теоретически может приближаться к 100% при очень малых размерах генератора.

В Советском Союзе лазер уже применяется в глазных операциях для мгновенной сварки отслоившейся сетчатки. Мощность луча в этом случае регулируется так, чтобы луч проникал в организм только на необходимую глубину.

В настоящее время во всех странах с развитыми наукой и промышленностью идет напряженная работа по совершенствованию лазеров. Но, к сожалению, надо отметить, что эта работа не всегда направлена на мирные цели. По сообщениям печати, уже изготовлено лазерное оружие ближнего боя — своего рода лазерное ружье. Мощность его излучения 500 *Мвт*, время накопления «заряда» — 10 *сек*, т. е. каждые 10 *сек* можно делать выстрел. Продолжительность излучения — миллионные доли секунды. Вес — 12 *кг*. Дальность действия — до 1,5 *км*.

Область применения лазеров непрерывно расширяется. Так, например, в журнале «Техника молодежи» № 1 за 1965 г. уже помещена статья с чертежами и данными «самодельного газового лазера». В этом лазере вместо кристалла применена самодельная газосветная трубка. Изготовление самодельного лазера, конечно, дело не простое, но для ловких рук доступное.

Квантовые усилители и генераторы

Процесс возбуждения атома (или молекулы) путем сообщения ему каким-либо способом некоторого количества дополнительной энергии и последующего возвращения его в нормальное, наиболее устойчивое состояние с излучением при этом нужных квантов электромагнитной энергии — все шире и в самых разнообразных формах используется радиоэлектроникой.

Свечение люминофоров на экранах электронно-лучевых трубок и оптических индикаторов настройки основано на этом явлении. В лазерах оно положено в самую основу действия приборов.

Есть еще один класс приборов, в работе которых используется указанное явление. Этими приборами являются так называемые молекулярные усилители и генераторы.

В приборах этого рода используется газ. Молекулы или атомы газа обособлены друг от друга и, не образуя какие-либо связанные ассоциации, обладают строго определенными «разрешенными» энергетическими уровнями, на которых могут находиться электроны. Чтобы заставить электрон перескочить со своей оболочки на оболочку с большим энергетическим уровнем, надо сообщить ему порцию энергии, равную разнице уровней этих двух оболочек. Возбужденный атом останется в таком состоянии до тех пор, пока на него не воздействует такой же самый квант энергии. Если такое воздействие последует, то электрон перескочит обратно и излучит избыток энергии, т. е. такой же самый квант. Вызвавший этот перескок квант не будет воспринят атомом, он будет двигаться дальше вместе с квантом, «освобожденным» им из атома (или из молекулы). Кванты эти являются квантами электромагнитной энергии — фотонами электромагнитных колебаний совершенно определенной частоты, которая соответствует данной энергии.

Если фотон встретит невозбужденный атом, то он возбудит его и будет поглощен атомом (мы имеем в виду, что энергия фотона как раз равна разности энергии между двумя «разрешенными» электронными оболочками атома). Если же фотон встретит уже возбужденный атом, то он «освободит» из него фотон, подобный самому себе. Значит, число фотонов удвоится, электромагнитная волна будет усилена вдвое.

Отсюда ясно, как можно сделать молекулярный усилитель. Для этого надо взять газ, у частиц которого есть «разрешенный» уровень с нужной разницей энергий между ядром и электронной оболочкой, и возбудить этот газ. Если теперь через такой возбужденный газ пропустить электромагнитную волну нужной частоты, то образующие ее фотоны (кванты) «освободят» из атомов газа какое-то количество дополнительных фотонов. В итоге чис-

ло фотонов будет увеличено, т. е. электромагнитная волна усилится.

Естественно, что усиление прекратится тогда, когда будут исчерпаны возбужденные атомы. Фактически оно прекратится раньше — как только число невозбужденных атомов газа превысит половину общего числа атомов. Ведь мы отметили, что квант электромагнитной волны имеет равные шансы освободить такой же квант из возбужденного атома или возбудить невозбужденный атом и быть им поглощенным. Поэтому, если мы хотим, чтобы усиление вводимой в прибор электромагнитной волны происходило непрерывно, нам надо позаботиться о постоянном пополнении в приборе количества возбужденных атомов.

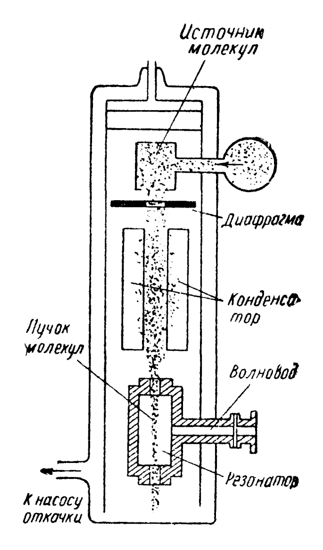


Рис. 87.

В приборе, который называется молекулярным усилителем или молекулярным генератором, все это и осуществляется. Общая схема прибора приведена на рис. 87. Он представляет собой сосуд, из которого со всей тщательностью удален воздух. В одном из концов сосуда производится впуск молекул газа аммиака. Эти молекулы обладают ценным свойством — при помощи электрического поля из их среды легко выделить те, которые возбуждены.

В соответствии с этой особенностью аммиака пучок его молекул пропускается через электрическое поле довольно сложной конфигурации. В этом поле возбужденные молекулы отсортировываются и пролетают далее через объемный резонатор, в который вводятся колебания с длиной волны 1,27 *см*, энергия фотонов которой как раз равна разности между уровнями энергии возбужденной и невозбужденной молекул аммиака. Кванты электромагнитной энергии переводят, как было только что рас-

сказано, молекулы газа из возбужденного в невозбужденное состояние. При этом молекулы излучают кванты электромагнитной энергии, вследствие чего электромагнитные колебания усиливаются.

Потерявшие активность молекулы газа после этого откачиваются, а усиленные электромагнитные колебания выводятся из объемного резонатора обычными способами. Часто «отработавшие» молекулы не откачивают, а «вымораживают». Для этого внутри сосуда помещают поверхности, охлаждаемые жидким азотом до минус 196° С, к которым молекулы и примерзают. А внутрь сосуда вводятся все новые количества подготовленных молекул. Для работы молекулярного усилителя нужно, чтобы пучок молекул состоял из 10^{18} молекул в секунду.

Каковы же преимущества усилителей и генераторов такого рода? Они замечательны прежде всего тем, что свободны от различных шумов, которые всегда сопровождают работу ламповой и полупроводниковой аппаратуры. Это их весьма важное преимущество. Вторым преимуществом служит необычайное постоянство частоты. Частоты различных экземпляров молекулярных генераторов такого рода отличаются друг от друга не больше чем на миллиардную долю. Молекулярный генератор — самый стабильный из всех известных нам генераторов. На основе таких генераторов наши ученые Н. Басов и А. Прохоров создали молекулярные часы, неточность хода которых едва составляет 1 *сек* в 3 000 лет.

Парамагнитные усилители

Молекулярные усилители, с которыми читатель только что познакомился, имеют много ценных достоинств. Но одно из их важнейших преимуществ одновременно является и их крупнейшим недостатком. Это качество молекулярных усилителей и генераторов — их моночастотность, способность усиливать или генерировать колебания строго одной частоты. Ну, а как быть, если будет нужно работать с колебаниями другой частоты?

Молекулярный усилитель работает на одной частоте потому, что молекулы газа в приборе обособлены и имеют только определенный незыблемый набор энергетических уровней. Более широкие возможности в этом отношении представляет твердое тело.

В частности, используется парамагнитный кристалл (обладающий магнитными свойствами) с тремя энергетическими уровнями. При понижении температуры можно подобрать такую ее величину, при которой, например, число частиц на верхнем уровне на 20 %, а на среднем уровне на 5 % меньше числа частиц на нижнем уровне. При прохождении через вещество электромагнитной волны, кванты которой соответствуют разности энергии между любыми из этих трех уровней, будет происходить ослабление волны вследствие ее поглощения.

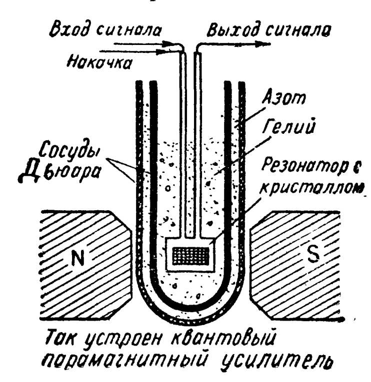


Рис. 88.

Что произойдет, если после этого направить в вещество волну такой частоты, кванты которой будут вызывать переход частиц с первого уровня на третий? При достаточной мощности волны число частиц на верхнем и нижнем уровнях сравняется. При этом на нижнем уровне число частиц будет на 10% больше. Равновесие при этом окажется нарушенным — на среднем уровне число частиц превысит на 5% число их на нижнем уровне.

Очевидно, что если после этого направить в кристалл электромагнитное излучение, кванты которого будут способствовать переходу со среднего уровня на нижний, то волна будет усилена, потому что при таком переходе будут излучаться кванты этой же частоты, которые присоединятся к действующей волне и усилят ее. Для того чтобы усилитель работал в нужном режиме, его приходится охлаждать до температуры, близкой к абсолютному нулю.

Парамагнитный кристалл (рис. 88) помещается в объемном резонаторе, имеющем два резонанса: один — на частоту возбуждения (переход частиц с нижнего уровня на третий) и второй — «рабочий» (переход частиц со второго уровня на нижний), при котором происходит усиление волны. Вся система помещается между

полюсами сильного магнита. Меняя величину магнитного поля, можно перестраивать усилитель на разные частоты.

Парамагнитный усилитель (генератор), подобно молекулярному, обладает весьма низким уровнем шумов. Для его охлаждения применяется жидкий гелий, в который погружается весь объемный резонатор.

Естественно, что парамагнитные усилители очень сложны и громоздки — главным образом из-за необходимости глубокого охлаждения. Но они применяются в таких случаях, когда с неудобствами подобного рода не приходится считаться.

Параметрические усилители

Первым прибором, открывшим возможность усиливать электрические колебания, была электронная лампа с управляющей сеткой, т. е. триод. Лампа, вероятно, и до сих пор остается количественно наиболее распространенным усилительным прибором. Созданы сотни образцов электронных ламп, предназначенных для различных специальных условий работы.

Но радиоэлектроника быстро развивается, множатся виды ее применения, и ламповые усилители, а также генераторы не всегда оказываются удовлетворительными. Поэтому одновременно с совершенствованием ламп идет разработка и изыскание иных усилительных приборов и иных способов усиления.

Эта работа трудна, но она уже ознаменовалась многими удачами. В число разработанных новых видов усилителей входят и так называемые параметрические усилители.

В колебательный контур входят катушка индуктивности и конденсатор (рис. 89). Их величины являются параметрами контура и определяют его частоту. Как известно, напряжение на обкладках конденсатора зависит от величины подведенного к нему заряда и его емкости. Напряжение на обкладках конденсатора прямо пропорционально величине заряда и обратно пропорционально величине емкости. Значит, при одном и том же заряде можно увеличить напряжение на конденсаторе, уменьшив его емкость. Если вдвое уменьшить емкость, то напряжение при том же заряде увеличится тоже в 2 раза.

Когда в контуре происходят электрические колебания, то заряд конденсатора, а следовательно, и напряжение на нем изменяются синусоидально. В течение каждого периода заряд на конденсаторе дважды будет наибольшим. Величина этого наибольшего напряжения и определяет амплитуду колебаний в контуре. Нам надо усилить колебания, значит, надо увеличить напряжение на конденсаторе в соответствующие моменты периода колебаний. Этого можно добиться при помощи, например, электронных ламп или транзисторов, но можно поступить и иначе — в нужные моменты резко уменьшать емкость конденсатора, тогда напряжение на нем соответственно возрастет, что будет равноценно увеличению амплитуды колебаний, т. е. их усилению. А в моменты полного разряда конденсатора величину его емкости надо снова восстановить. Производить эти изменения емкости конденсатора нужно точно в моменты наибольшего заряда и полного разряда конденсатора.

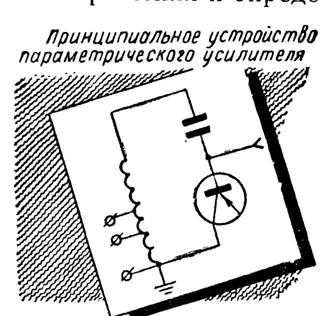


Рис. 89. Параметрический усилитель.

Этот способ усиления получил название параметрического, потому что он осуществлен путем изменения одного из параметров контура — величины емкости его конденсатора.

Разумеется, как и всегда, усиление получается за счет затраты энергии. Для того чтобы уменьшить емкость заряженного конденсатора, надо затратить энергию. В результате поле конденсатора, существующее между его пластинами, будет увеличено, отчего и возрастет напряжение на нем. Доведение емкости конденсатора до его нормальной величины в моменты разряда конденсатора не потребует затраты энергии, потому что поле не будет противодействовать этому — в момент разряда поля между пластинами нет.

Осуществить подобный усилитель можно разными способами. Одно из простых решений — применение в качестве конденсатора полупроводникового диода. У та-

кого диода есть запирающий слой, который можно рассматривать как изолятор-диэлектрик, находящийся между двумя пластинами — зонами диода с одной и с другой стороны запирающего слоя, обладающими проводимостью. Толщина запирающего слоя зависит от знака и величины напряжения, приложенного к диоду. При подведении напряжения в направлении, соответствующем проводимости диода, запирающий слой становится тоньше, следовательно емкость диода-конденсатора увеличивается. При подведении напряжения обратного знака, т. е. в «непроводящем» направлении, запирающий слой становится толще, емкость диода-конденсатора уменьшается. Таким образом, для соответствующего изменения емкости контура нужно только менять напряжение на диоде. Управлять изменением напряжения, подводимого к диоду, можно при помощи тех же колебаний, которые надо усилить, а электропитание получается от отдельного генератора, который принято называть генератором накачки.

Изготовляемые в настоящее время диоды позволяют параметрическим усилителям работать на очень высоких частотах — до десятков тысяч мегагерц.

Параметрические усилители можно доводить до самовозбуждения. Если поставить параметрический усилитель в режим самовозбуждения, но его генерацию срывать со сверхзвуковой частотой, то он будет работать так же, как сверхгенеративный приемник, дающий, как известно, огромное усиление. Параметрический «сверхгенератор» при благоприятных обстоятельствах позволяет усиливать мощность сигнала в десятки миллионов раз.

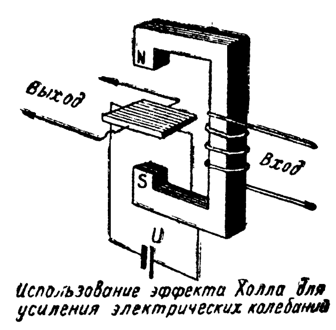
Использование эффекта Холла

Эффект Холла, названный так в честь открывшего его в прошлом веке американского ученого Э. Холла, состоит в следующем. Если мы к двум противоположным граням пластинки из токопроводящего материала подведем электрический ток, то под воздействием электрического поля заряды начнут двигаться от одной из этих граней к другой в соответствии с направлением поля и знаком зарядов. Распространение движущихся зарядов будет по всей толще материала равномерным. Если в пластинке создать сильное магнитное поле, направленное перпенди-

кулярно к плоскости пластины, то направление движения электронов изменится, электроны будут магнитным полем отклоняться к одной из боковых сторон пластинки.

У одной из боковых граней окажется больше электронов, чем около противоположной грани, значит, между двумя этими гранями возникнет электрическое напряжение.

Изучение эффекта Холла и его количественных зависимостей выявило возможность использования его для усиления. Эксперименты показали, что величина напряжения, обусловленного отклонением электронов магнитным полем, находится в зависимости от величины магнитного поля, поэтому если усиливаемые колебания будут управлять величиной магнитного поля, то в цепи, соединенной с соответствующими боковыми гранями, возникнут колебания, с большей амплитудой, т. е. усиленные. Колебания, подлежащие усилению, подводятся к катушке, находящейся на керне магнита (рис. 90). Возбужденная в пластинке поперечная электродвижущая сила и полярность этой электродвижущей силы зависят от используемого материала (пластинки). Например, для висмутовой пластинки постоянная Холла (поперечная электродвижущая сила) будет в 100 000 раз больше, чем для медной.



Использование эффекта Холла для усиления электрических колебаний

Рис. 90.

Чувствительность приборов подобного рода к изменениям магнитного поля позволяет с успехом использовать их для различных магнитных измерений в качестве чувствительного индикатора изменений магнитного поля.

Приборы подобного типа, которые мы условно назвали усилителями Холла, очень просты по устройству, не содержат изнашивающихся частей, не нуждаются в вакууме, прочны механически, начинают работать сразу по включении. Все это делает их широкое применение весьма вероятным.

Эффект Холла используется также в магнитогидродинамических генераторах, разработка которых ведется

усиленными темпами. Магнитогидродинамические генераторы будут преобразовывать тепловую энергию непосредственно в электрическую. Как известно, в Советском Союзе уже осуществлен и работает первый в мире экземпляр такого генератора.

Материалы

Для современного этапа развития науки и техники весьма характерна углубленная работа над материалами, используемыми в данной области для различных целей. Она состоит во всестороннем изучении физических свойств и особенностей материалов, их тщательной очистке от малейших следов примесей, а часто и их искусственного изготовления и создания новых материалов, обладающих заданными качествами.

Все это, разумеется, в равной степени относится и к радиоэлектронике, — пожалуй, даже к ней это относится в первую очередь, поскольку значительная часть приборов радиоэлектроники базируется на тонком использовании особенностей электрических и атомных процессов, происходящих в веществе, преимущественно в газах и твердых телах. В подтверждение этого достаточно вспомнить хотя бы о полупроводниках. Их замечательные свойства оставались неизвестными в течение по крайней мере столетия, главным образом из-за неумения получать их в чистом виде. Надо добыть германий, который разбросан в природе микроскопическими дозами, надо очистить его до такой фантастической степени, о которой раньше и понятия не имели, надо вырастить из него монокристалл, нужно хорошо разобраться в особенностях его поведения в «электрическом отношении», надо выпилить из кристалла маленькую — меньше булавочной головки — пластинку, оживить ее присадкой других, столь же сверхчистых полупроводников, приварить к ней три вывода, нужно проделывать все это в ультрахирургической обстановке обеспыленных помещений, и тогда получится малюсенький транзистор, который будет работать в приборах, установленных на спутнике или в карманном радиоприемнике. Между тем полупроводники с их самыми разнообразными применениями — от транзистора до солнечной батареи и передающей телевизионной трубки — являются только частью тех многочисленных «особых материалов», которые использует радиоэлектро-

ника и которые обеспечивают ее успехи. Перечислим некоторые из этих материалов.

Пьезоэлектрики. Значительная группа материалов используется радиоэлектроникой из-за их пьезоэлектрических свойств. Пьезоэффект известен физике очень давно. Он состоит в возникновении электрических зарядов на поверхностях некоторых кристаллических веществ при их деформации, например сжатии, растягивании, скручивании, изгибании. Пьезоэффект обратим: если к соответствующим поверхностям пьезокристаллов подвести электрические заряды, то кристалл претерпит такую деформацию, какая вызвала бы возникновение на его поверхностях подобных зарядов. Если, например, при сжатии кристалла на его определенных поверхностях возникают заряды, то при подведении к этим поверхностям подобных зарядов кристалл сожмется.

Пьезосвойствами обладают многие кристаллы, например кварц, турмалин, сахар, борацид, цинковая обманка. В особенности сильный пьезоэффект наблюдается у сегнетовой соли (рис. 91) — слабительном средстве, вырабатываемом из остатков виноделия. Название «сегнетова соль» присвоено по имени парижского аптекаря Сегнета, открывшего это средство. Несмотря на развитие виноделия, сегнетова соль в настоящее время не используется, так как обладает рядом недостатков (хрупка, боится влаги и повышения температуры).

Физически возникновение зарядов объясняется электрической поляризацией атомов или молекул, образующих кристалл. Эти образующие кристалл частицы расположены в кристаллической решетке определенным для данного кристалла образом, отчего зависит и их ориентация. Изменение ориентации и приводит к деформации. Характер деформации или знак и величина возникающих зарядов зависят от того, как направлено воздействие по отношению к осям кристалла.

Для того чтобы пьезоприборы получались одинаковыми и заданным образом реагировали на подведение к ним зарядов или на механические воздействия, надо, чтобы пластинки кристалла имели определенную форму и их грани были точно ориентированы в отношении осей кристалла. В качестве материалов используются или естественные (природные) кристаллы, или искусственно выращиваемые в лабораториях из насыщенных растворов.

Обработка пьезоэлементов выполняется специальными лабораториями или заводами. Из кристалла надо вырезать пластинки нужных размеров, соответственно ориентированные по осям кристалла. Потом пластинки доводятся до необходимой толщины, полируются и металлизируются, т. е. две их грани покрываются металлом для подведения зарядов или для их снятия. Пластинка в таком виде (рис. 92) называется пьезоэлементом.

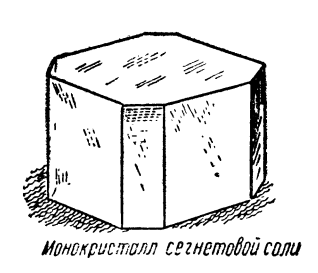


Рис. 91.

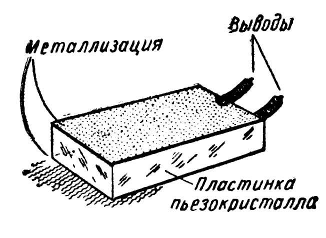
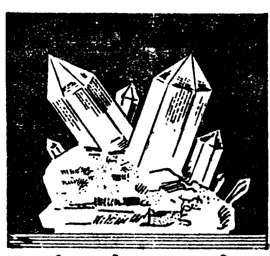


Рис. 92.

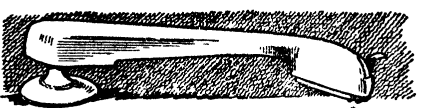
Различные пьезоматериалы обладают неодинаковыми свойствами. Кварцевые пластинки обладают той особенностью, что их колебания имеют определенные частоты (определяемые формой и размером пластины) очень высокой стабильности. Это свойство кварцевых пластин делает их очень удобными для стабилизации частоты радиопередатчиков и вообще генераторов высокой частоты. Стабилизация генераторов кварцем применяется очень широко. В настоящее время большинство специальных передатчиков и приемников (радиовещательные, авиационные, военные и профессиональной связи, измерительные генераторы) стабилизируются по частоте кварцами. Эталонные кварцевые генераторы, например установленные в специальных подвалах с регулируемой температурой, обладают постоянством частоты до миллионных долей процента. Простые кварцевые генераторы, устанавливаемые в приемниках и передатчиках связи, позволяют не настраивать приемники, а входить в связь при одном включении (нажатии кнопки). Ясно, какую ценность представляет это свойство, например, для связи самолета с аэродромом, когда может быть дорога каждая секунда.

К концу второй мировой войны в войсковой аппаратуре использовалось много миллионов кварцевых стабилизаторов, и их дальнейшее производство затормозилось нехваткой природного сырья (см. рис. 93). В послевоенные годы физикам и химикам пришлось много потрудиться, прежде чем они смогли выработать технологию выращивания искусственных кристаллов кварца требуемых размеров и качества.



Так выглядят природные кристаллы кварца

Рис. 93.



Пьезозвукосниматель есть и в Вашей радиоле

Рис. 94.

Некоторые пьезоматериалы не имеют такой одной резонансной частоты; структура их кристаллической решетки позволяет использовать их в широком диапазоне частот. Например, почти все современные звукосниматели для проигрывателей имеют пьезомеханизм, т. е. их активно работающей частью служит пьезоэлемент. Пьезопластина звукоснимателя имеет форму удлиненного прямоугольника. Один узкий конец ее закреплен, а на второй насажен держатель для иглы. Игла, двигаясь по борозде грампластинки, колеблется, а держатель (рис. 94) передает эти колебания пьезоэлементу, скручивая его в одну и в другую сторону. Поэтому пластина вырезается из кристалла так, чтобы она работала на скручивание, т. е. чтобы на ее гранях возникало наибольшее напряжение при скручивании.

Пьезоэлементы применяются для изготовления безмагнитных телефонных трубок, микрофонов, датчиков давления и пр. Пьезодатчик представляет собой пьезоэлемент (см. рис. 92), прикрепляемый к исследуемому объекту. Если, например, исследуется изгибание объекта, то к нему прикрепляют пьезоэлемент, работающий на изгибание. Датчик-пьезоэлемент соединяется проводами к измерительным приборам или усилителям.

Пьезоэлементы весьма чувствительны. При их помощи и в сочетании с усилителем можно регистрировать механические смещения разного вида на незначительные доли микрона, на расстояния, приближающиеся к размерам атомов. При значительных деформациях, не выходящих за пределы прочности пьезоэлемента, развиваемое им напряжение может доходить до многих десятков и даже сотен вольт.

Широкой областью использования пьезоэлементов является возбуждение и прием ультразвуковых колебаний. Например, очень распространено применение пьезоэлементов в гидроакустических устройствах — ультразвуковых локаторах, эхолотах и пр.

Теперь в качестве пьезоматериала применяется главным образом керамика титаната бария — механически прочный, негигроскопичный, термостойкий материал, обладающий высокими пьезосвойствами. Керамике титаната бария искусственно придаются пьезосвойства. В современных радиолах применяются пьезоэлектрические граммофонные звукосниматели с пьезоэлементами из керамики титаната бария.

Магниты и электреты. В науке и технике часто бывает нужно как постоянное магнитное, так и постоянное электрическое поле. Получить первое очень просто — для этого надо взять постоянный магнит. Постоянные магниты широко применяются в телефонных трубках, микрофонах, громкоговорителях, измерительных приборах и т. д. Ценность постоянных магнитов состоит в том, что они не имеют ограниченного срока службы и в процессе работы не изнашиваются. Постоянный магнит может выйти из строя только в силу каких-нибудь случайных причин, например при сильном нагревании или сильных ударах. В отличие от магнитно-мягких материалов, работающих в режиме перемагничивания (в трансформаторах и пр.), для постоянных магнитов используются материалы, имеющие большие значения коэрцитивной (задерживающей) силы и остаточной индукции. Современная технология позволяет выпускать постоянные магниты, обладающие высокими магнитными качествами (углеродистые и хромистые стали и в особенности стали с большим содержанием вольфрама и кобальта).

Создать подобные источники постоянного электрического поля оказалось сложнее. Можно, конечно, пользо-

ваться батареей гальванических элементов или аккумуляторов. Электродвижущая сила этих источников изменится немного в течение нескольких месяцев, но в дальнейшем потребуется замена элементов новыми. Аккумуляторы часто бывают неудачны по конструктивным и эксплуатационным соображениям. Постоянное электрическое поле можно получить от заряженного конденсатора, но конденсаторы не держат заряды очень долго. Можно сказать, что конденсаторы всячески «стараются» избавиться от заряда, используя для этого все возможности, даже такие, как изменение температуры, увеличение влажности воздуха и пр. В хорошем слюдяном конденсаторе емкостью в несколько микрофарад заряд при саморазряде уменьшается до половины (напряжение падает до половины) примерно за 10—20 *ч*.

Однако эта трудная задача была решена. И, как это часто бывает, наблюдения, подсказавшие решение, были сделаны очень давно. Более 200 лет назад Ф. Эпинус, профессор университета в Петербурге, обнаружил, что кристаллы турмалина, заряженные в нагретом состоянии, после охлаждения удерживают эти заряды. Английский ученый М. Фарадей и некоторые другие установили в последующем, что некоторые вещества, заряженные в жидком состоянии, т. е. заряды которых были разделены, сохраняют это их разделение после отвердевания. Создавалось такое впечатление, как будто заряды «замерзли» и не могли равномерно распределиться по всему объему вещества.

Заряды лучше всего «замерзали» тогда, когда устройство было похоже на конденсатор: расплавленное вещество помещали между двумя металлическими пластинами, к которым подводился заряд, и затем, не снимая заряда, производилось охлаждение до полного затвердевания вещества. После этого поверхности, обращенные к пластинам, оказывались заряженными. Заряды эти создают в окружающем пространстве электрическое поле.

В последние годы такие постоянные источники электрического поля были хорошо изучены, их стали называть электретами. Электреты (внешний вид показан на рис. 95) являются такими же источниками постоянного электрического поля, как постоянные магниты — магнитного поля. Электреты не имеют определенного ограниченного срока службы, не боятся короткого замыкания и т. д.

Надо, конечно, помнить, что электреты могут создавать постоянное электрическое поле, но получать от них даже самый небольшой ток нельзя. Это условие определяет и места, где электреты могут быть использованы.

Экспериментальные работы показали возможность изготовления электретов несколькими способами. Первый, наиболее надежный способ — охлаждение расплава (смесь некоторых восков и смол) в электрическом поле, о котором говорилось выше, получил название термоспособа. В таких электретах электрический заряд может без заметного ослабления сохраняться годами. В некоторых случаях удается получить электреты облучением диэлектрика светом или другими лучами, но такие электреты обычно менее стабильны. Срезание с электрета поверхностного слоя не влияет на его заряд. Разрезав электрет по «нейтральной линии», получают два электрета (как и в случае магнитов).

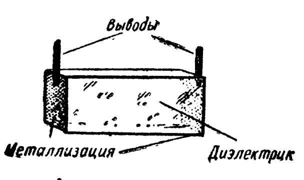


Рис. 95.

Ферриты. В течение начального периода развития радиоэлектроники применялись только металлические магнитные материалы с высокой магнитной проницаемостью. Их можно было встретить главным образом в сердечниках низкочастотных трансформаторов. Такие магнитные материалы — большей частью различные сорта трансформаторной стали — обладают малым удельным электрическим сопротивлением. Несмотря на слоистую структуру сердечников, использовать их при высоких частотах было невозможно из-за слишком больших потерь на вихревые токи.

Преимущества магнитных сердечников ясны. Их применение дает возможность значительно уменьшить число витков катушек, сделать меньше их размеры. Поиски возможности применения магнитных сердечников в высокочастотных катушках не прекращались.

Прежде всего были сделаны попытки применить магнитодиэлектрики, в которых магнитный материал включен в виде мелких зерен, разделенных друг от друга диэлектриком (изолятором). Такие материалы имели боль-

шое удельное сопротивление, но зато их магнитная проницаемость оставалась малой. Увенчались некоторым успехом попытки применения естественного магнитного материала — магнетита, удельное сопротивление которого в 100 000 раз превосходит сопротивление железа. Во многих супергетеродинах трансформаторы промежуточной частоты подстраивались магнетитовыми сердечниками.

После ряда изысканий, продолжавшихся довольно много лет, удалось разработать материал, вполне удовлетворяющий всем требованиям. Он получил название



Рис. 96.

«феррит»; иногда его называют феррокерамикой. Наибольшее распространение получили никель-цинковые и марганец-цинковые ферриты. Изготовление ферритов подобно изготовлению керамики. Нужные детали прессуются из ферропорошка с примесью связующего вещества. Это вещество затем выжигается из готовых деталей путем их нагрева, после чего спрессованные детали подвергаются спеканию.

У ферритов очень мелкая кристаллическая структура. Они чрезвычайно прочны и тверды. Для обработки их применяются главным образом алмазный инструмент или твердые абразивы.

Ферриты значительно способствуют совершенствованию радиоэлектронной аппаратуры. Они дают возможность делать очень небольшие по размерам катушки, отличающиеся высоким качеством. Только благодаря ферритовым деталям стало возможным конструирование радиоприемников карманного размера.

Все более широкое распространение получают так называемые магнитные антенны — ферритовые бруски небольшой длины, примерно 15—25 *см*, на которых наматываются входные антенные катушки (рис. 96). Магнитная антенна устанавливается внутри футляра аппарата. Если размеры аппарата позволяют, то антенна делается поворотной. Магнитная антенна имеет направ-

ленное действие, и, поворачивая ее, можно усилить прием нужной станции и ослабить прием мешающих станций, работающих на близких волнах. В радиоприемниках небольших размеров, например в портативных, антенна закрепляется неподвижно, и для нахождения ее благоприятного положения надо повертывать весь радиоприемник.

Ферритовые изделия находят в радиоэлектронной аппаратуре и различные другие применения. Например, они используются в запоминающих устройствах электронных счетно-решающих машинах. Подобно всем ферромагнитным материалам, феррит обладает магнитострикционными свойствами, т. е. при попадании в магнитное поле размеры феррита изменяются. Явление это обратимо — при деформации магнитные свойства феррита изменяются, изменяется величина его магнитной проницаемости. Ферритовые детали, например стержни, имеют магнитострикционные резонансные свойства. Частота резонанса зависит от размера ферритовой детали. Магнитострикционные свойства ферритов дают возможность использовать их в качестве преобразователей электрических колебаний в механические.

Диэлектрики (линейные). Изоляционные материалы играют чрезвычайно важную роль в изготовлении деталей и приборов радиотехнического назначения. Особую группу представляют диэлектрики, предназначенные для работы при очень высоких частотах. Кроме того, диэлектрикам предъявляется ряд других требований: механических, температурных, старения, общеклиматических и пр.

ПРИКЛАДНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Нет никакой возможности описать все области, виды и формы применения радиоэлектроники — слишком многочисленны, велики и разнообразны эти области и виды. Есть такие отрасли науки и техники, в которых радиоэлектроника является самой основой. Их примерами могут служить радиовещание и телевидение. Но можно привести и сколько угодно примеров иного рода, когда радиоэлектроника не является основой того или иного вида науки или техники, но широко используется ими, способствует их обогащению и быстрому прогрессу. Если из навигации, метеорологии, звукозаписи и др. изъять радиоэлектронику, то их возможности и уровень сделают шаг назад по меньшей мере на полвека, но, естественно, это не означает, что, скажем, метеорология должна считаться частью радиоэлектроники.

Во многих отраслях науки, техники, промышленности используются методы радиоэлектроники и применяются отдельные приборы и установки радиоэлектроники, выполняющие самые необычайные задания. Такое проникновение радиоэлектроники как вспомогательного средства особенно заметно за последние два десятилетия, когда взаимосвязь различных наук, иногда весьма далеких одна от другой, стала приносить весьма плодотворные результаты. Радиоэлектроника, ее методы, ее приборы и установки открыли новые горизонты для ученых и инженеров, какова бы ни была их специальность. Конечно, и радиоэлектроника получает важную помощь со стороны других отраслей. Взаимное и исключительно плодотворное обогащение есть наиболее характерная черта современного хода развития всей науки и техники.

Мы постараемся рассказать в этой главе как непосредственно о самих прикладных разделах радиоэлектроники, так и о наиболее характерных случаях ее использования другими областями.

Радиосвязь

Ко времени возникновения радиосвязи уже существовали достаточно хорошо развитые проводной электрический телеграф и телефон. Телеграф действовал уже на большие расстояния, подводный телеграфный кабель связывал континенты, например Европу и Америку. Проводной телефон в эти же годы внедрялся в городах как главное средство внутригородской связи, и даже начинал действовать междугородный телефон. Например, 31 декабря 1898 г. состоялось открытие проводной телефонной связи между Петербургом и Москвой.

Но, несмотря на все успехи, проводная электросвязь не могла уже удовлетворить все потребности передовых быстро развивающихся государств. Военные и торговые флоты оставались без связи. Корабли выходили из портов и надолго «пропадали без вести». Прокладывание подводных кабелей — предприятие очень дорогое и трудное. Трансокеанской связью располагали только немногие крупнейшие страны. Крупные и мелкие острова и даже целые континенты оставались вне системы мировой телеграфной связи. Связь без проводов стала насущной необходимостью.

К концу 19-го столетия развитие физики достигло нужного для этого уровня. Замечательный русский ученый Александр Степанович Попов продемонстрировал это 7 мая 1895 г. Он использовал для этого электромагнитные колебания, теоретически предсказанные англичанином Максвеллом. Немецкий ученый Герц экспериментально доказал реальность их существования. Но сам Герц не верил в возможность использования их для связи. В 1889 г. он писал инженеру Губарту, который интересовался такой возможностью: «Если бы вы были в состоянии построить вогнутые зеркала размером с материк, то могли бы отлично поставить опыты, которые имеете в виду. Но с обычными зеркалами практически ничего сделать нельзя, и вы не сможете обнаружить ни малейшего действия. Так, по крайней мере, я думаю». Это звучит

несколько странно, так как Герц в основном работал на волне 35 *см*.

Но А. С. Попов был другого мнения. Он соорудил наружную антенну, применил когерер Бранли и, настойчиво экспериментируя, добился блестящих результатов. Мир получил такую связь, о какой до этого люди могли только мечтать (рис. 97). Радиосвязь быстро совершенствовалась. В 1901 г. радиограмма пересекла Атланти-

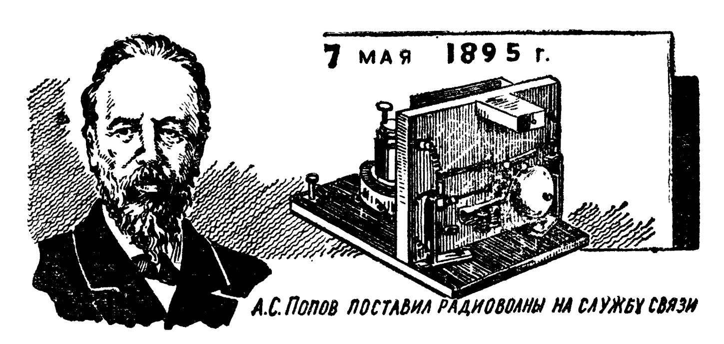


Рис. 97.

ческий океан (из Англии в США, фирма Маркони). Универсальность радиосвязи показал сам ее изобретатель, проводя успешные испытания на море, на суше и в воздухе (с воздушным шаром). Эти три вида связи и остались главнейшими до сих пор, — к ним прибавилась лишь космическая радиосвязь и в небольших размерах связь сквозь толщу земли.

В наши дни радиосвязь настолько многообразна, что нет никакой возможности хотя бы вкратце перечислить все виды ее использования. Поэтому мы сможем упомянуть лишь о важнейших.

Исключительную роль играет магистральная радиосвязь внутри государств, между ними и между материками. Весь основной поток информации, телеграфных сообщений, в том числе и частных, телефонных разговоров, фототелеграмм (последняя новинка — цветные фототелеграммы) и т. п. идет по радиоканалам, причем чем больше расстояние, тем больше и удельный вес радиосвязи по сравнению с проводной.

Связь с морскими и речными судами можно поддерживать только по радио, поэтому радиостанциями оборудуются теперь все суда. Небольшие суда имеют только связную радиостанцию для переговоров с портами и между судами, а также аварийные радиостанции, имеющие независимое питание и могущие действовать даже автоматически. Суда более крупные имеют по несколько радиостанций различного назначения: для связи со своей страной, с ближайшим портом, с другими кораблями, для внутрипортовой связи, аварийные и пр. У аварийных станций с независимым питанием имеется обычно достаточный запас для снабжения ими шлюпок в случае аварии. Кроме того, часто бывают отдельные передатчики для сообщения метеорологических сведений, для связи с самолетами.

Если морские и речные суда имеют возможность устанавливать связь на малом расстоянии при помощи сигнальных флагов или фонарей, то авиация лишена и такой возможности. Радио для нее — единственный вид связи. А связь для авиации имеет еще большее значение, чем для морских и других кораблей. Самолет во время полета должен непрерывно получать сведения о погоде на трассе, знать условия посадки на аэродроме назначения и на ближайших аэродромах, получать сообщения о встречных самолетах, сообщать о своем местонахождении, запасе горючего и пр. Диспетчерам всей трассы надо в любой момент знать, где находятся летящие по ней самолеты, условия их полета, запас горючего, исправность оборудования и т. п. Эти сведения можно получить только по радио, поэтому радиосвязь — это подлинные глаза и уши авиации. Без радиосвязи авиация в современных масштабах была бы совершенно невозможна. Поэтому немудрено, что линейный самолет наших дней имеет сложное и многочисленное оборудование радиосвязи различного назначения — от небольших радиостанций для внутриаэродромной связи и кончая мощными станциями для связи на расстояние многих тысяч километров.

Но сказанным отнюдь не исчерпываются виды использования радиосвязи. Ныне радиосвязь буквально пронизывает все звенья народного хозяйства. В сельском хозяйстве радио широко используется для связи с тракторными бригадами и полевыми станами. Пожарные ма-

шины снабжаются радиостанциями для связи со своим центром, диспетчер таксомоторного парка по радио разговаривает с машинами на линии и направляет свободные машины по вызовам или в места скопления пассажиров; многочисленные поисковые партии, например геологоразведывательные и др., имеют радиостанции для связи с базами; метеорологическая служба имеет свою широко разветвленную сеть радиосвязи, полярные организации — свою, и т. д. Современный уровень жизни и народное хозяйство невозможны без радиосвязи.

Нельзя не упомянуть еще и о большом распространении разнообразных автоматически действующих радиостанций. Не всюду, откуда должна вестись радиопередача, есть люди. Например, есть такие автоматические радиостанции — метеорологические. Аппаратура станции автоматически в нужное время производит требуемые замеры, затем включается передатчик, который сообщает результаты замеров на базу. Автоматически работают и передатчики аэрозондов. Есть автоматические парашютные передатчики. Они опускаются вместе с грузовыми парашютами и начинают передавать сигналы, которые дают возможность найти сброшенный груз. Шлюпочные морские аварийные радиостанции тоже могут работать автоматически, если никто из попавших на шлюпку не умеет пользоваться станцией.

Нельзя завершить этот краткий обзор, не сказав ничего о космической радиосвязи. Радиоэлектроника играет в завоевании космоса ведущую роль, причем значительная часть ее приходится на долю радиосвязи. Когда запуск ракет в космическое пространство стал совершившимся фактом, радиосвязи пришлось держать тяжелейший экзамен. Радиосвязь должна была быть обеспечена на неслыханных дотоле расстояниях, исчисляемых миллионами, десятками миллионов и даже сотнями миллионов километров, а передатчикам и приемникам ракет приходилось выдерживать страшные перегрузки и тряску во время запуска и переносить все специфически космические условия работы в течение всего полета.

Мы знаем, что радиосвязь выдержала этот суровейший экзамен. Она хорошо справлялась с космическими расстояниями. Страшные космические дали уже обжиты радиоволнами наших передатчиков (рис. 98). Во всяком случае, можно сказать, что на расстоянии до бли-

жайших планет нашей солнечной системы, т. е. до Венеры и Марса, радиосвязь будет работать хорошо. А о таких расстояниях, как до Луны или до искусственных спутников Земли, и говорить не приходится. Как помним все мы, наши герои-космонавты во время своих космических полетов запросто беседовали с Землей и друг с другом, от них уверенно принимались телеметрические сигналы (сведения о показаниях приборов, установленных на искусственных спутниках), изображения и др.



Рис. 98.

Таким образом, радиосвязь примерно за 70 лет прошла блистательный путь — от первых опытов А. С. Попова в пределах физического кабинета минных классов в Кронштадте до космических далей солнечной системы.

Радиовещание

Радиовещание существует немного больше, чем 40 лет. Осенью 1924 г. в Москве были начаты регулярные радиовещательные передачи (рис. 99). В некоторых других странах это произошло одним-двумя годами раньше. Радиовещание еще совсем молодо, но достижения его велики.

Можно охарактеризовать радиовещание коротко — это радиопередачи, предназначенные для приема всеми желающими. Но из этого и из других подобных определений совсем не видно, какую огромную и глубочайшую культурную революцию совершили эти передачи, предназначенные для всех желающих их принимать. Радиове-

щание сразу стерло расстояния, открыло для всех двери театров, концертных залов, учебных заведений, оно развернуло перед всеми газетные листы и журнальные страницы. То, что раньше было доступно очень немногим, стало теперь достоянием всех. Виднейшие общественные деятели и крупнейшие ученые, знаменитые музыканты и певцы, лучшие актеры и чтецы принесли к нам



Рис. 99.

в дом, где бы он ни был, свое живое слово, весь свой талант, весь жар своей души.

Возьмите программу радиопередач за любой день и посмотрите, насколько она насыщенна и многообразна. И все это без всякого промедления доступно всем. Житель далекой Чукотки и москвич слышат последние новости практически в один и тот же миг, и для них обоих распахиваются сегодня двери лучшего театра страны.

Радиовещание состоит в передаче человеческого голоса и музыки. Когда прошло первое время изумления фактом возможности приема на расстояние тысяч километров, то слушатель предъявил настойчивое требование — передавать возможно естественнее, с минимальными искажениями, а лучше, конечно, совсем без них.

Чтобы бороться с искажениями, надо знать их причины. А науке того времени об этом было известно очень мало. Наука эта называется акустикой. Началось усиленное и убыстренное развитие акустики. Одновременно тщательно изучались и наши органы слуха — ведь надо выяснить, что им нужно, чтобы слышать без искажений, какие отступления здесь допустимы. А это уже от-

носится к физиологии. В радиоприемниках звуки воспроизводятся приборами, например громкоговорителями. Сразу возникают вопросы: как сказываются различные конструкции громкоговорителей на воспроизведении, от каких материалов и как зависит качество воспроизведения, как влияют на звучание особенности помещения. Тут работа нашлась и металлургам, и бумажникам, и архитекторам. Радиоприемники желают иметь все. Значит, их надо делать миллионы, десятки миллионов (в середине 1964 г. у нас в СССР было 35 млн. радиовещательных приемников и 10 млн. телевизоров). Для этого нужна мощная промышленность. С другой стороны, эти миллионы радиоприемников нужно чем-то питать. Количество потребляемой ими энергии имеет государственное значение.

Мы упомянули здесь лишь малую долю вопросов, связанных с развивающимся радиовещанием. В их решение была втянута большая часть народного хозяйства. Радиоприемники были одной из важных причин, вызвавших переустройство промышленности. Для миллионов радиоприемников нужны многие сотни миллионов ламп, сопротивлений, конденсаторов и других деталей. Для выпуска продукции в таких количествах нужна автоматизация, вручную ее не сделаешь. Так радиовещание, совершив культурную революцию, побуждает промышленность к скорейшей технической революции, к коренной перестройке, причем технической базой для этого служит сама же радиоэлектроника, являющаяся одной из высших форм техники.

Совершенствование радиовещательной аппаратуры идет сразу по многим путям, которые в этом обзоре нет возможности не только сколько-нибудь подробно описать, но даже просто перечислить. Поэтому мы отметим лишь некоторые из них.

Важнейшим качеством радиоприемника считается естественность воспроизведения. В этом отношении сделано очень многое и достигнуты значительные успехи. Обнаружено, что для естественности звучания надо воспроизводить с требуемой амплитудой полосу частот примерно от 20 *гц* до 20 *кгц*. Однако самые высокие частоты, выше примерно 10—12 *кгц*, очень многие люди не слышат, и отсутствие этих частот мало кем замечается. Поэтому лишь в лучших радиоприемниках добиваются

воспроизведения частот примерно до 15 *кгц*, а в обычных приемниках ограничиваются полосой до 7—12 *кгц* (по тракту низкой частоты).

Один громкоговоритель не может воспроизвести полосу частот нужной ширины. Поэтому в радиоприемниках в большинстве случаев применяют несколько громкоговорителей, рассчитанных на воспроизведение разных участков спектра звуковых частот. Различают громкоговорители низкочастотные и высокочастотные, а иногда еще и среднечастотные.

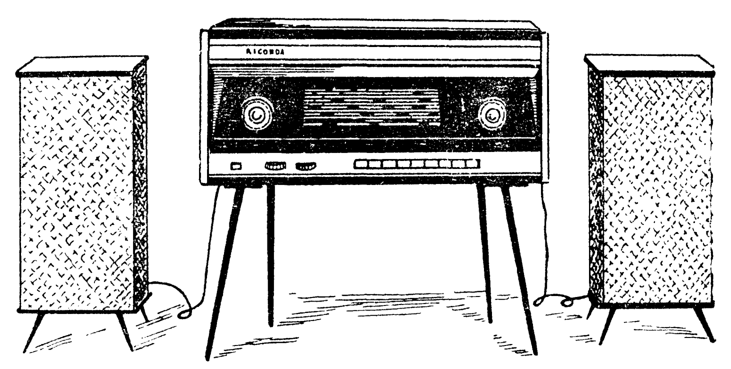


Рис. 100.

Последним нововведением, направленным на то, чтобы улучшить качество звучания, является стереофоническое вещание. Стереофоническая передача производится с двух микрофонов, разнесенных на несколько метров один от другого. Колебания от каждого микрофона направляются в самостоятельный канал, передачи ведутся двумя передатчиками (или одним передатчиком по особой системе). В месте приема оба канала воспроизводятся отдельными группами громкоговорителей (рис. 100), разнесенными так же, как микрофоны. Стереофоническое воспроизведение дает возможность слушателям представить себе, как размещены исполнители, чувствовать их передвижение по изменению направления, с которого приходит звук, и пр. Теперь выпускаются и граммофонные пластинки со стереофонической запи-

сью. Радиовещательные станции пока ведут лишь опытные стереофонические передачи.

Для улучшения качества воспроизведения введено также радиовещание на ультракоротких волнах (УКВ). На УКВ можно передать более широкую полосу частот, чем на длинных, средних и коротких волнах. Этому способствует то, что на одну радиовещательную программу

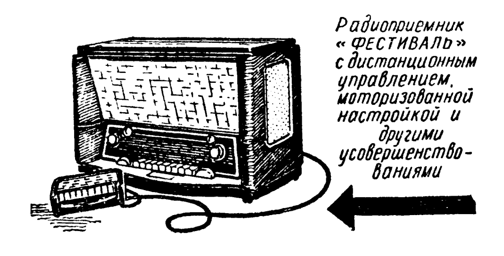


Рис. 101.

предоставляется более широкая полоса частот (до 75 *кгц*), используемая по системе частотной модуляции. Помимо того, на УКВ почти полностью отсутствуют помехи в виде тресков и шумов, которыми засорены все другие диапазоны. В большинстве современных радиоприемников, за исключением главным образом транзисторных, введен УКВ диапазон. Дальность действия передатчиков УКВ ограничена дальностью примерно прямой видимости.

Большие успехи достигнуты в области облегчения и упрощения управления радиовещательным приемником. Введены в практику клавишные переключатели диапазонов и рода работы приемника, гораздо более удобные и наглядные, чем поворотные (рис. 101). Момент настройки на станцию определяется по оптическому индикатору, лучшие образцы приемников имеют дистанционное управление (устройство для управления на расстоянии) и даже моторизованную настройку. Этот вид настройки состоит в том, что для перестройки приемника с одной станции на другую не надо крутить ручку настройки. Для этого достаточно нажать клавиш, и перестройка производится моторчиком. Когда приемник окажется настроенным на нужную станцию, нажим на клавиш надо прекратить. Несущественно, если приемник в это время не

будет точно настроен на выбранную станцию, — устройство автоматической подстройки само уточнит настройку.

Усилия конструкторов постоянно обращены на то, чтобы повысить экономичность радиоприемников. Огромное количество радиоприемников делает этот вопрос чрезвычайно важным. Если в настоящее время в стране имеется около 40 млн. радиоприемников, то экономия всего нескольких ватт на питание каждого из них в сумме дает очень заметную величину. Экономия 10 *вт* на питание каждого радиоприемника составит 400 *Мвт* — более половины мощности Днепровской гидроэлектростанции.

Одним из очень существенных путей повышения экономичности радиоприемников является уменьшение потребления энергии лампами. Это особенно важно в силу того, что число ламп в современных радиоприемниках обнаруживает тенденцию к увеличению. Введение УКВ диапазона, разделение низкочастотной части на два канала для стереофонии, добавление автоматических регулировок (вроде автоматической подстройки частоты) и пр. приводит к увеличению числа ламп в радиоприемниках. Там, где возможно, лампы заменяются полупроводниковыми приборами. Полупроводниковые выпрямители применяются вместо ламповых (кенотронов), а полупроводниковые диоды — вместо детекторных ламп. Какую это дает экономию энергии, можно судить хотя бы по одному тому, что мощность накала обычного кенотрона 5Ц4С (5 *в* и 2 *а*) составляет 10 *вт*. В итоге всех мероприятий потребляемая радиоприемниками мощность по сравнению с моделями прошлых лет снижена на 30—40%.

С каждым годом промышленность выпускает все больше транзисторных радиоприемников, т. е. таких, в которых ламп вообще нет, а их функции выполняют транзисторы и полупроводниковые диоды. На рынке есть много моделей таких приемников, в основном переносных (рис. 102). Надо помнить, что малые размеры их акустического устройства (громкоговорителей) не позволяют добиться такого качества передачи, каким обладают установки с крупно-габаритными громкоговорителями.

Важнейшим процессом совершенствования приемников является миниатюризация. Не следует думать, что

причиной тут является всего-навсего желание сделать радиоприемник меньше по размерам. К этому привели очень сложные причины. Прежде всего надо сказать, что огромные усилия, которые прилагает армия конструкторов к миниатюризации, вызваны не радиовещательными приемниками, а радиоэлектронной аппаратурой специального назначения. Среди этой аппаратуры есть установки очень сложные, в которых счет деталей идет не на сотни, как в радиоприемниках, а на многие тысячи. Примером могут служить электронные счетные машины. Эти машины, радиолокационные станции и др. при использовании крупных деталей получаются непомерно большими. Чтобы сделать их практически приемлемой величины, надо елико возможно уменьшить детали. А раз промышленность переходит на выпуск малогабаритных деталей, то, естественно, они используются и в радиоприемниках.

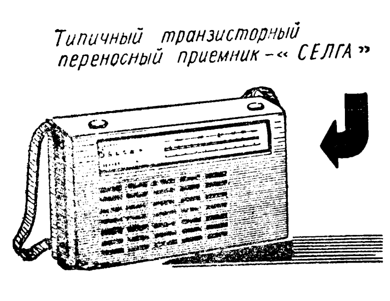


Рис. 102.

Исключительную роль играет надежность. Чем сложнее изделие, тем труднее его ремонт, нахождение повреждения и замена поврежденных деталей. От качества самих деталей зависит в этом отношении очень многое, но сборка, монтаж и регулировка также сильно влияют на надежность работы прибора, особенно сложного. Надежность в настоящее время является одним из важнейших вопросов для очень многих отраслей промышленности, и особенно для радиотехнических устройств. Это по той причине, что в радиоэлектронной аппаратуре используется весьма большое количество отдельных деталей и узлов, причем неисправность отдельной детали или узла в большинстве случаев приводит к полному или частичному выходу из строя всей аппаратуры. Серьезность положения легко представить себе, вообразив прекращение связи с космическим кораблем после запуска.

К проблеме надежности и связанной с ней миниатюризацией радиоэлектронной аппаратуры придется еще

вернуться в одном из специальных разделов книги.

Радиосвязь и радиовещание используют в общих чертах одинаковую радиоэлектронную технику. Ламповые передатчики, которые иногда лишь начинают заменять транзисторными, возбуждают электромагнитные колебания, которые распространяются во все стороны или же посылаются направленными антеннами в какомлибо определенном направлении. В антенне приемного пункта электромагнитные волны порождают электрические колебания, которые усиливаются электронными лампами или транзисторами, должным образом обрабатываются и подводятся к исполнительному органу, которым в радиовещательном приемнике является громкоговоритель, в телевизоре — электронно-лучевая трубка, на линии радиосвязи — пишущий телеграфный аппарат, телефон, фототелеграфный аппарат или различные другие устройства. В управляемой ракете или в космическом корабле эти сигналы могут быть подведены к реле, которые приведут в действие системы ориентации, фото-кинотелевизионные устройства, измерительную аппаратуру, передатчик и т. п.

Телевидение

Возможность не только слышать у себя дома то, что происходит где-то в другом месте, но и видеть была поразительна даже для людей двадцатого века, привыкших к чудесам техники. А ведь нельзя сказать, что сама по себе идея телевидения была новинкой, никогда не будоражившей умы.

Если не обращаться к миру сказок, где предвозвестников телевидения можно найти уже очень давно, то придется констатировать, что реальные проекты осуществления телевидения появились вскоре же после открытия фотоэффекта. В 1876 г. француз де Пайва теоретически разработал систему передачи изображений, получившую название электрического телескопа. Этой системой предусматривалась передача изображения по отдельным точкам. В месте передачи изображение проектировалось на поле, состоящее из расположенных правильными рядами фотоэлементов. Каждый фотоэлемент соединялся двумя проводами с соответственно расположенной лам-

лочкой, яркость свечения которой регулировалась фотоэлементом. Чем сильнее был падавший на него свет, тем ярче горела лампочка.

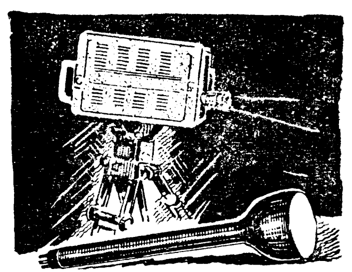
Эта система при всей своей практической неосуществимости содержала в принципе правильную идею разложения передаваемого изображения на отдельные точки, преобразования в этой точке получаемой порции света в электрический импульс и передачи этого импульса в место воспроизведения, где этот импульс управляет яркостью свечения точечного источника света, расположенного в соответствующем месте поля. Эта основная идея оказалась правильной и жизнеспособной, и именно она была положена в основу телевизионных систем, когда пришло время их реализовать.

В дальнейшем эта телевизионная система различными авторами совершенствовалась, оставаясь практически неосуществимой, поскольку имевшиеся технические средства не были для этого достаточны. Но само по себе совершенствование шло по правильному пути, что существенно облегчило работу конструкторам тогда, когда развившаяся техника позволила осуществить телевидение. Так, например, ввиду явной невозможности соединения каждого фотоэлемента с соответствующей ему лампочкой отдельной парой проводов или хотя бы одним проводом при втором проводе, общем для всех точек, в последующих системах было предложено передавать точки по очереди, присоединяя специальными переключателями в порядке очередности фотоэлементы и связанные с ними лампочки к одной паре проводов.

Таким образом, вначале возникла правильная идея разложения передаваемого изображения на отдельные последовательно (по рядам) расположенные точки и «складывания» в месте приема изображения из точек в том же порядке. Затем выкристаллизовалась идея развертки изображения во времени путем поочередной передачи каждой точки по строкам, как были названы ряды точек. Развертку сразу же предложили осуществлять так, как мы читаем книги — слева направо и сверху вниз, т. е. каждая строка «прочитывается» слева направо, начиная с верхней и переходя затем к следующей, расположенной ниже. Когда будет передана последняя строка, то закончится кадр — одно законченное неподвижное изображение. Это выполняется в передающей трубке те-

левизионной камеры (рис. 103) и специальной радиосхемой в телевизоре.

Исторически первой началась передача неподвижных изображений — фототелеграф. В фототелеграфе время передачи кадра не имеет решающего значения. Но в передаче движущихся изображений время передачи кадра играет первенствующую роль. Чтобы движение казалось слитным, надо передавать в секунду не менее 16 кадров. Практически оказалось, что для получения действительно хорошего движущегося изображения надо передавать в секунду 25 кадров. Значит, передача одного кадра не может длиться больше $^1/_{25}$ *сек*.



Передающая телевизионная камера и ее „сердце"- передающая трубка

Рис. 103.

Поточечная передача изображения оказалась выгодной в том отношении, что это дало возможность накопления заряда. Передача каждой точки длится меньше одной миллионной доли секунды (в нашем стандарте — около $7 \cdot 10^{-8}$ *сек*), после чего в течение $^1/_{25}$ *сек* продолжается освещение передаваемой точки, и заряд фотоэлемента за это время накапливается. Это позволяет снизить требования к освещенности передаваемого объекта.

Об электронно-лучевых трубках уже говорилось во второй части этой книги. В передающей трубке светоактивной частью является пластина-экран, покрытый слоем диэлектрика, в котором находятся миллионы изолированных друг от друга чувствительных к свету микроскопических зерен серебра. Слой этот нанесен на металлическую пластину, с которой каждое зерно серебра образует миниатюрный конденсатор. Передаваемое изображение проектируется на экран, при этом свет вырывает из зерен серебра то или иное количество электронов в зависимости от яркости данной точки изображения. Чем больше электронов вырвано из зерен, тем больше заряд конденсатора, образованного этим зерном и металлической пластиной.

Экран по строкам обегает электронный луч, который поочередно уничтожает заряды этих микроконденсаторов. При этом в точке луча возникают импульсы, пропорциональные величине зарядов конденсаторов. Эти импульсы и представляют собою модулирующий телевизионный сигнал. Кроме того, к этому сигналу примешиваются кадровые и строчные синхронизирующие импульсы, согласно которым происходит движение электронного луча в приемной трубке. Величина электронного луча в приемной трубке изменяется в соответствии с телевизионными сигналами, и точка экрана, на которую падает луч, светится поэтому то сильнее, то слабее. Из точек разной яркости и складывается изображение. Передача всех этих телевизионных сигналов производится на несущей в диапазоне 50—1000 *Мгц* (на передачу одной точки на экране затрачивается, таким образом, 15—30 высокочастотных колебаний).

По своему объему основным применением телевидения является телевизионное вещание — передача телевизионных программ для всех желающих принимать их. Телевизионное вещание бурно развивается. Число передающих телевизионных станций и телевизоров на руках у населения быстро возрастает. Для передачи телевидения с высокой четкостью нужна широкая полоса частот. Это объясняется тем, что телевизионный сигнал для передачи движущегося изображения изменяется миллионы раз в секунду, а частота колебаний, нужная для передачи этих сигналов, не может быть меньше. Для передачи такой полосы частот пригодны только очень короткие волны. Поэтому для телевидения используют ультракороткие волны — волны короче десяти метров. Однако у волн телевизионного диапазона есть крупный недостаток — их прием возможен только на небольшом расстоянии. Это ограничивает не только территорию, обслуживаемую каждой передающей станцией, но и затрудняет обмен программами между городами — непосредственный прием станции, удаленной за пределы ее «видимости», невозможен. В зависимости от высоты, на которой расположена антенна телевизионного передатчика (и в известной степени от мощности передатчика), радиус действия телевизионной передачи порядка 100 *км*.

На большие расстояния телевизионные передачи транслируются по специальным коаксиальным кабель-

ным линиям. У нас такие линии проложены, например, между Москвой — с одной стороны, Ленинградом и Киевом — с другой и далее за Киев. Между этими городами действуют линии видеотелефона — разговаривающие по телефону видят друг друга (рис. 104). Еще большая дальность передач телевизионных программ возможна по радиорелейным линиям с установкой ретрансляторов через каждые 60—70 *км*. Бóльшая часть нашего обмена телевизионными программами между городами внутри нашей страны и с другими странами производится по радиорелейным линиям.

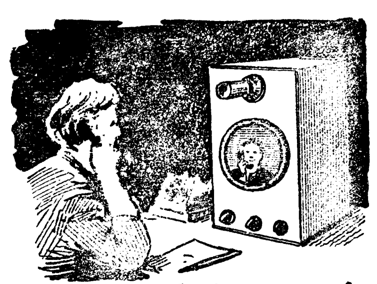


Рис. 104.

Внутри города так называемые «внестудийные» передачи — со стадионов, из театров и пр. — производятся по простейшей однозвенной радиорелейной линии. На место, откуда будет производиться передача, выезжает телевизионная передвижная станция, там устанавливаются передающие камеры, которые через усилители и всю подсобную аппаратуру соединяются с небольшим передатчиком, антенна которого нацелена на городской телевизионный передатчик. На мачте этого передатчика есть приемная антенна, которая, приняв сигнал, передает его в аппаратную, откуда он после соответствующей обработки поступает на городской передатчик и излучается через его антенны. В местах, откуда часто производятся передачи, устанавливаются постоянные антен-



Рис. 105.

ны (рис. 105), делается нужная проводка и пр. Москвичи могут видеть антенны таких релейных передатчиков для внестудийных передач, например на крышах зданий цирка, Большого театра, на крупных стадионах.

В 1963 г. были проделаны увенчавшиеся успехом опыты дальней телевизионной трансляции при помощи отражающих сигналы искусственных спутников Земли. Такие спутники типа «Телестар» и «Эхо» были запущены США. При их посредстве телевизионные программы передавались через океан из США в Европу.

В 1965 г. у нас запущен специальный ретранслирующий спутник «Молния-1», при помощи которого ведутся телевизионные передачи из Москвы во Владивосток и обратно.

Телевидение передается пока черно-белое. Системы цветного телевидения разработаны, в нескольких странах производятся экспериментальные цветные передачи (в том числе у нас в Москве), но эти системы считаются пока слишком сложными и дорогими для широкой эксплуатации. Недавно между СССР и Францией было заключено соглашение о совместной разработке системы цветного телевидения «Секам», более простой, чем американская. Равным образом можно ожидать изменения формата экрана, что будет удобнее для многих передач и в особенности для показа широкоэкранных и широкоформатных кинофильмов.

Одной из важных проблем, стоящих перед телевидением, является сохранение передач. Возможность такого сохранения представляется важной по нескольким соображениям. Многие телевизионные передачи представляют собой огромную ценность для истории — таковы первые космические полеты, важнейшие события в жизни страны и т. п. Некоторые передачи по тем или иным причинам (важнейшие выступления политических деятелей, спектакли с участием лучших сценических сил, учебные передачи и пр.) нуждаются иногда в повторении. Затем большая разница во времени между удаленными пунктами может сделать демонстрирование передач при дальней трансляции неудобным. Жители Дальнего Востока должны будут смотреть московские вечерние передачи глубокой ночью или очень рано утром. В таких случаях нужна возможность задержки передачи и показа ее в удобное время.

Вначале для сохранения передач применялась их киносъемка с экрана высококачественного телевизора-монитора. Но киноспособ требует сравнительно длительной и сложной обработки ленты. В последнее время начали применять для этой цели магнитную запись на специальных магнитофонах, дающих возможность записывать требуемую, очень широкую полосу частот. Магнитная запись (рис. 106) имеет свои обычные преимущества — немедленную готовность ленты без дополнительной обработки, возможность контроля, одновременного с записью, возможность многократного использования ленты (стирание старой записи и производство новой) и т. д. Поэтому магнитный способ записи телевизионных передач используется наряду с обычной кинозаписью во все более широких масштабах.



Рис. 106.

Магнитный способ записи телевидения можно применять даже для киносъемок. Это позволяет сразу же просмотреть снятые кадры и, если надо, переснять их, экономит материал (повторное использование ленты), позволяет проявлять меньше заботы о свете (телевизионная трубка чувствительнее кинопленки). Большое значение имеет и легкость монтирования при использовании магнитной ленты. Правда, в обычных кинотеатрах такой фильм демонстрировать нельзя.

Столь замечательное достижение техники, как телевидение, не могло, конечно, получить такую ограниченную область применения, как вещание. Области применения телевидения шире. Широко используется телевидение в качестве средства диспетчерского наблюдения. Диспетчерам часто бывает нужно видеть, что происходит в разных цехах заводов, на шлюзах и пр. В этом им помогает телевидение. Передающие телевизионные камеры, управляемые с центрального пункта, устанавливают-

ся в нужных местах, и диспетчер, переключая свой телевизор с одной камеры на другую, может быстро разобраться в обстановке. Телевизионная камера может быть установлена там, где человек в силу опасности происходящих процессов не может находиться, но наблюдать за происходящим нужно. Телевизионные камеры вместе с источниками света опускаются глубоко под воду и дают возможность производить осмотр и наблюдения на таких глубинах, куда ни водолаз, ни подводная лодка проникнуть не могут. Телевизионные камеры, несомненно, перед полетом человека будут посланы с автоматическими космическими устройствами на ближайшие планеты и дадут нам возможность осмотреть их и, сообразуясь с этим, подготовить первый полет человека.

Телевидение применяется для учебных целей — например, показ студентам хирургических операций, — и во многих других случаях. Телевидение и телевизионная промышленность — это огромная отрасль народного хозяйства, и если бы радиоэлектроника обеспечивала реализацию только одного телевидения, то и за это одно она могла быть поставлена на одно из почетных мест в ряду различных отраслей техники.

Эхолокация

Развитие техники приводит к появлению новых терминов и речевых оборотов, далеко не всегда удачных. Вот один из примеров. В наши дни с исключительным упрямством вживается в обиход неграмотное выражение «передается по телевизору» вместо правильного «по телевидению». Ведь никто не скажет: «Этот концерт передается по радиоприемнику». Всегда скажут: «передается по радио». А «по телевизору» не только говорят, но многие уже и пишут, к сожалению, даже в газетах.

Многие термины приходится менять из-за развития техники, когда на определенном этапе название перестает соответствовать сущности дела. Была вполне правомочна магнитная звукозапись. Но вот этот вид записи был применен для записи телевизионных передач, в качестве элемента памяти в электронно-счетных и других подобных устройствах. И в результате «звук» из термина надо удалять — не скажешь ведь «звукозапись изображений» (рис. 107).

Такая же участь постигла и радиолокацию. Конечно, сама по себе радиолокация остается радиолокацией, но в качестве родового названия метода она теперь не годится. Мы знаем локацию ультразвуком, посылками электрических импульсов, светом, звуком. Общее, что используется во всех таких способах, — это эффект эха. Поэтому мы и поставили в заголовке название «эхолокация», которое само напрашивается на применение, а лучшего пока не предложено.



Рис. 107.

Эхолокация является средством определения местонахождения. Она состоит в посылке сигналов того или иного рода и приеме их отражения от объекта. Направление, по которому приходит отраженный сигнал, позволяет определить, где находится объект (направление на него), а время, прошедшее между посылкой сигнала и его возвращением, дает возможность узнать расстояние до него. Это возможно, потому что скорость распространения сигнала всегда бывает известна. Если, например, звук пролетает, в воздухе в секунду 340 *м*, а отражение посланного звукового сигнала пришло через 2 *сек*, то до отразившего звук объекта как раз 340 *м* (всего за 2 *сек* звук пролетел 680 *м*, а $680:2=340$). Как мы увидим из дальнейшего, последнее, т. е. расстояние до объекта, представляет наибольший интерес, и его надо знать всегда. Определять направление требуется не во всех случаях.

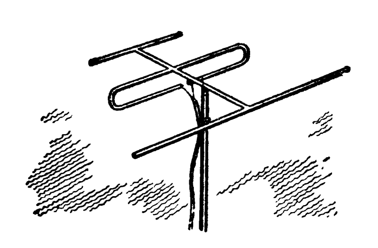
В настоящее время наибольшее развитие получила разновидность эхолокации, известная под названием радиолокации, которая является родоначальником этой области техники.

Радиолокация

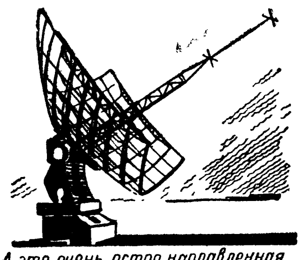
Идея использования радио для определения местонахождения объектов в пространстве зародилась около сорока лет назад, но реальное воплощение она получила

только в год начала последней мировой войны. Радиоволны, особенно УКВ, больше всего пригодны для этой цели, так как они, распространяясь прямолинейно с наибольшей возможной скоростью (300 000 *км/сек*), могут быть излучаемы направленно (узким лучом) и так же направленно приняты с помощью такой направленной антенны.

Размеры направленных антенн (рис. 108) должны находиться в определенном соотношении с длиной волны.



Ваша телевизионная антенна тоже направленная



А это очень остро направленная антенна - радиопрожектор

Рис. 108.

Острая направленность может быть обеспечена лишь тогда, когда размеры антенны во много раз больше длины волны.

Посланная волна должна отражаться от объекта. Если длина волны больше встречающегося на ее пути объекта, то волна обтекает его. Отражения совсем не получается, или оно бывает весьма слабым. Чтобы получить хорошее отражение, надо применить радиоволну, длина которой во много раз меньше размеров объекта. Это правило относится не только к радиоволнам, но и ко всем вообще волнам. Это обстоятельство ограничивает, между прочим, и возможности микроскопа.

Что же это могут быть за объекты? Они в большинстве случаев бывают сравнительно невелики: это морские и речные суда, самолеты, айсберги, скалы. Размеры самолетов и кораблей, если смотреть на них с носа или с кормы, могут измеряться немногими метрами, айсберги и скалы тоже могут быть невелики. Для радиолокаторов важна не длина предмета, а его отражающая площадь ($м^2$). Кораблю может потребоваться найти ночью в мо-

ре шлюпку — объект по размерам совсем незначительный. Вначале для радиолокации применялись волны длиной в несколько метров, но потом в большинстве случаев перешли на сантиметровые волны, а иногда даже на миллиметровые. Такие волны очень удобны и в отношении возможности устройства хорошо направленной антенны, и в отношении возможности обнаружения малой по размерам цели.

Общий принцип радиолокации состоит в посылке сигнала, который носит название зондирующего импульса, и улавливании его эха, отраженного от встреченного на пути его объекта. Зондирующий импульс посылается направленной антенной, в большинстве случаев имеющей форму параболического зеркала. Радиоволны распространяются со скоростью 300 000 *км/сек*, т. е. за 1 *мксек* они перемещаются на 300 *м*. Во время посылки зондирующего импульса принять его отражение невозможно, потому что мощный импульс забьет слабый отраженный сигнал, тем более что для передачи и приема обычно используется одна и та же антенна. Поэтому прием отраженного сигнала возможен только в промежутках между посылками зондирующих импульсов. Отсюда первое условие радиолокации — посылка зондирующих импульсов отдельными «порциями», разделенными интервалами, во время которых производится прием отраженных сигналов.

Посмотрим теперь, как связана работа локатора с продолжительностью посылок (зондирующих импульсов) и интервалов между ними. Как мы сказали, во время посылки прием невозможен. Если посылка длится 1 *мсек*, то радиоволна пролетит за это время 300 *км*. Очевидно, что объект, отразивший сигнал, не может быть ближе 150 *км* (сигнал пролетит 150 *км* до объекта и 150 *км* от него, т. е. всего 300 *км*). Если объект находится ближе, чем 150 *км*, то отраженный от него сигнал вернется ранее, чем закончится посылка зондирующего импульса, и отражение не будет принято. Поэтому продолжительность посылки ограничивает минимальное расстояние, на котором может быть объект. Это расстояние равно половине того, какое пройдет радиоволна за время посылки. При желании обнаруживать объекты, начиная с расстояния в 150 *м*, надо, чтобы длительность зондирующего импульса длилась не больше 1 *мксек*.

После окончания посылки начнется прием отраженных сигналов, которые будут приходить с течением времени все от более удаленных объектов. Но прием станет снова невозможен, как только начнется следующая посылка зондирующего импульса. Поэтому продолжительность интервалов между посылками ограничивает наибольшее расстояние до объекта, которое может быть определено.

Таким образом, подбирая продолжительность посылок и продолжительность интервалов между ними, можно строить локаторы для определенной наибольшей и наименьшей дальности обнаружения.

Мы видим, что важнейшим фактором в работе радиолокатора является время. Чтобы пользоваться радиолокатором, надо уметь отсчитывать крайне малые отрезки времени — до микросекунд и даже их долей.

Очень удобным инструментом для измерения столь малых промежутков времени оказалась электронно-лучевая трубка. Электронный луч в этой трубке можно заставить отклоняться с большой скоростью. В простейшем типе локатора электронный луч все время прочерчивает одну горизонтальную строку по диаметру экрана. Светящаяся точка начинает свой бег с левого конца строки в момент посылки зондирующего импульса. В этот момент на луч действует отклоняющее по вертикали напряжение, вследствие чего на горизонтальной строке образуется вертикальный выброс. Затем начинается интервал между посылками, в течение которого луч с равномерной скоростью движется по строке с таким расчетом, чтобы он как раз закончил прочерчивание строки за время, пока длится интервал. Затем луч очень быстро перемещается к началу строки, и весь процесс повторяется сначала.

Если во время прочерчивания строки будет принят отраженный сигнал, то на вертикальные отклоняющие органы трубки попадет соответствующее напряжение и на строке получится выброс — знак приема отраженного сигнала. По расстоянию между выбросом от зондирующего луча на строке и выбросом от отраженного луча можно судить о действительном расстоянии до объекта, отразившего сигнал. Для легкости отсчета у строки, прочерчиваемой лучом, можно поместить (рис. 109) шкалу. Ее можно проградуировать в единицах времени, напри-

мер в микросекундах, но проще всего производить градуировку непосредственно в расстояниях из указанного расчета 1 *мксек* — 150 *м* или 0,15 *км*. В этом случае на шкале сразу можно прочесть расстояние до объекта, от которого отразился сигнал.

При обычном режиме поиска антенна радиолокатора непрерывно качается, «осматривая» таким образом тот или иной сектор пространства. Направление антенны станции показывает при появлении отраженной отметки

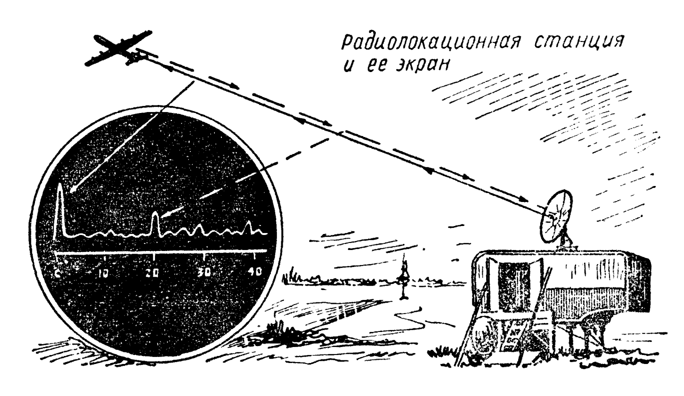


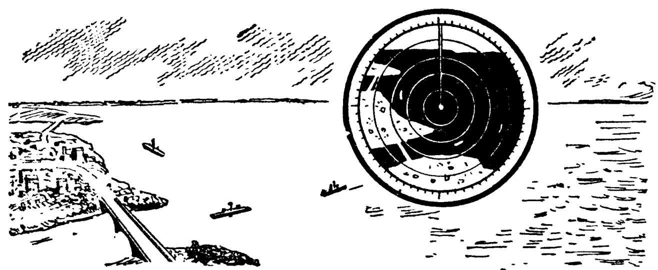
Рис. 109.

направление на объект и в градусах от меридиана данного места или иной, выбранной оси координат, и в градусах от горизонтальной плоскости. Все эти данные легко отсчитываются на шкалах, и их совершенно достаточно, чтобы точно установить местонахождение объекта, где бы он ни был — на воде, на земле или в воздухе. Если объект перемещается, то выброс от отраженного им сигнала будет тоже передвигаться по шкале. Это позволяет рассчитать, в каком направлении и с какой скоростью движется объект.

Если в зоне, охватываемой локатором, находится несколько объектов, то от каждого из них придет отраженный сигнал и на экране можно будет наблюдать несколько выбросов. В радиолокаторах некоторых типов специальные схемы убирают с экрана отражения от неподвижных предметов и оставляют только движущиеся. Это очень помогает наблюдать, например, за само-

летами в воздухе, не засоряя экран импульсами от зданий, труб, мачт и пр.

Есть радиолокаторы кругового обзора, которые дают на экране карту местности. В таком локаторе луч прочерчивает строку по радиусу, а радиус этот (рис. 110) обходит весь круг, центром которого является локационная станция. Видно, конечно, не очень четко, но информация может быть чрезвычайно нужной.



Так выглядит карта местности на экране радиолокатора

Рис. 110.

Устройство радиолокационной станции достаточно сложно. В каждой такой станции работают десятки, а иногда и сотни ламп. Важнейшей частью локатора является хронизатор. Так называется орган, вырабатывающий импульсы времени, которые управляют всей работой станции — включением передатчика для посылки зондирующего импульса, его выключением, разверткой луча по экрану и пр.

Чтобы приемник локатора уловил отраженные сигналы, нужна большая мощность передатчика. Такую мощность удается получить от небольших генераторных ламп, используя их в импульсном режиме. Например, лампа работает только в течение $\frac{1}{1\,000}$ доли секунды (посылка импульса), а $\frac{999}{1\,000}$ секунды охлаждается. В таком режиме лампа может отдать мощность в 1 000 раз больше нормальной.

В настоящее время все морские суда и многие речные, а также все самолеты снабжаются радиолокационными станциями, а крупные суда и большие самолеты, а

также специальные самолеты имеют их по нескольку штук. Радиолокационная техника чрезвычайно развита. Например, имеется аппаратура, сигнализирующая о том, что данный объект облучается какой-то радиолокационной станцией. Есть устройства типа «свой — чужой», дающие возможность отличить, например, самолет своей страны от самолета другой страны, есть различная аппаратура, противодействующая работе радиолокационных станций, и пр.

В последнее время начала развиваться космическая радиолокация. В 1946 г. были сделаны первые опыты посылки радиолокационных сигналов на Луну. Опыты были удачны — отраженные сигналы удалось принять, как и следовало, примерно через 2,5 *сек*, так как в тот момент Луна находилась от Земли на расстоянии около 384 000 *км*. В дальнейшем радиолокация Луны была повторена несколько раз. В 1958 г. в США и в 1959 г. в Англии были сделаны попытки радиолоцировать Венеру, но уверенный результат не был получен. Лишь в 1961 г. в США, в Англии и у нас были осуществлены успешные опыты радиолокации Венеры. Уже произведена радиолокация Солнца, Меркурия, Марса и даже Юпитера. В этом последнем опыте, произведенном нашими учеными, прием отраженных сигналов был исключительно труден. Он производился по методу накапливания; прием-накапливание продолжалось 20 *ч*. Только в результате столь длительного накапливания удалось выделить отраженные сигналы из маскирующих их шумов.

Радиолокация космических объектов позволяет уточнить расстояние от них до Земли, причем радиолокация внесла существенные поправки в величины расстояний, определенные другими способами.

Электролокация

Локация возможна и по проводам. Есть приборы для определения расстояния до места повреждения линии или кабеля связи (рис. 111). Принцип действия таких приборов несколько схож с действием локатора. Применяются эти приборы для нахождения места повреждения проводов линий путем посылки в линию импульса напряжения и наблюдения его эха (возвращения отраженного импульса).

Прибор действует так. Если в двухпроводную линию (или коаксиальный кабель) подать импульс или даже просто постоянное напряжение, то это напряжение будет распространяться вдоль линии с определенной для данной линии скоростью. Для обычных линий связи это будет скорость от половины до трех четвертей скорости света. Если на конце линии присоединена полезная нагрузка правильного сопротивления (так называемое вол-

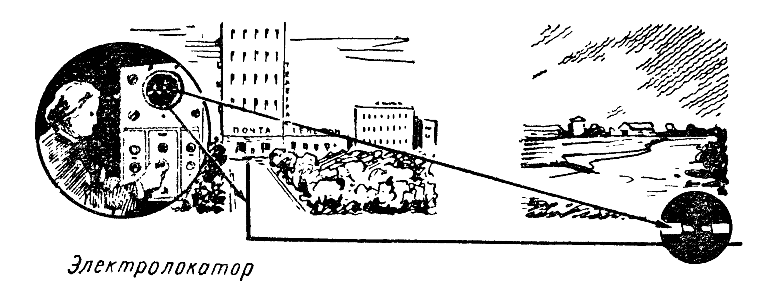


Рис. 111.

новое или характеристическое сопротивление линии, зависящее от типа линии; для обычных линий берется около 600 *ом*, для коаксиальных линий — около 100 *ом*), то вся дошедшая энергия будет с пользой выделена в этом сопротивлении. Если у линии или у ее части случится открытый конец (ненагруженный, обрыв), то дошедшее до конца линии напряжение, отражаясь от открытого конца, направится по линии обратно, сохраняя ту же полярность и накладываясь на имеющееся в линии напряжение. Если на развертку трубки осциллографа подать отметку от посылки в линию напряжения и добавочную отметку от возвратившейся обратно волны напряжения, то можно прикинуть или после градуировки шкалы для данного типа линии достаточно точно определить, какой длины оказалась линия до открытого конца (обрыва). Если же на конце линии вместо обрыва окажется короткое замыкание, то волна напряжения изменит свою полярность, направится обратно и, дойдя до включенного в начале линии осциллографа, даст в соответствующем месте развертки отметку в другую сторону от линии развертки (или уменьшит оставшееся напряжение). Расстояние до

места аварии (короткого замыкания) может быть также определено по той же шкале, градуированной для линии данного типа (иначе говоря, должна быть известна скорость распространения электрического импульса в линии данного типа). Единственным случаем, когда отражения не будет и эхо-импульс не возвратится к началу линии и прибор не окажет пользы, явится неполное короткое замыкание на сопротивление, равное волновому (положим, 600 *ом*). В этом случае все посланное напряжение будет полностью поглощено в этом сопротивлении.

Звуколокация

На довоенных парадах по Красной площади проходили звукометрические установки, состоящие из двух разнесенных акустических рупоров. Вращая эти «разнесенные» уши, можно было услышать звук самолетного мотора и достаточно точно установить направление, по которому дошли звуки до звукоуловителя, хотя за это время источник звука мог переместиться сам на довольно заметное расстояние. В связи с повышением скорости самолетов эти звукоуловители оказались бесполезными.

В последующие годы роль «самолетоулавливателей» с гораздо большим успехом стали выполнять радиолокаторы.

В настоящее время звуколокация используется в воде. Применять ее в воздухе было бы очень неудобно из-за малой скорости распространения звуковых колебаний. В воздухе звуковые волны не могут конкурировать с радиоволнами.

В воде радиоволны использовать нельзя вследствие их очень большого затухания. Звук распространяется в воде достаточно хорошо со скоростью примерно в 4,5 раза больше, чем в воздухе (1 540 *м/сек*), а водные и подводные объекты менее быстроходны, чем воздушные или наземные, поэтому использование «звука» дает вполне удовлетворительные результаты. В данной фразе вместо слова «звук» надо сказать «акустические» или, точнее, «ультразвуковые» волны, иначе говоря, гидроакустические колебания повышенной частоты. Практически используются частоты от 20 *кгц* до 100 *кгц*. Этим частотам соответствуют в водной среде волны длиною от 154 000 (*см/сек*) : 20 000 (1/*сек*) = 7,7 *см* до

154 000 (*см/сек*) : 100 000 (1/*сек*) = 1,5 *см*. Такие волны пригодны для обнаружения малых объектов.

Гидролокация нашла широкое применение в морском деле. Плывущий корабль должен быть уверен, что впереди по его курсу нет препятствия в виде подводной скалы, остатков затонувшего корабля, скоплений льда и пр. Звуковой локатор непрерывно прощупывает пространство под водой перед кораблем и обеспечивает безопасность плавания. Звуковые локаторы являются лучшим средством обнаружения подводных лодок и мин. В паре с радиолокатором звуковой локатор дает в руки мореплавателям прекрасное средство для безопасности плавания даже в условиях отсутствия видимости, например ночью, в тумане.

Для возбуждения гидроакустических колебаний в воде применяются пьезоэлектрические или магнитострикционные вибраторы. Электрические колебания нужной частоты генерируются ламповыми генераторами. Эти колебания подводятся к подводному вибратору, который преобразует их в механические (гидроакустические) колебания. Общее устройство всей установки схоже в принципе с устройством радиолокаторов. Оператор ведет наблюдения также по экрану электронно-лучевой трубки, на котором он видит выбросы от зондирующих посылок и от прихода эха. Шкалы градуируются непосредственно в расстояниях.

Ультразвуковые локаторы все с большим успехом применяются рыболовными судами для поисков рыбы. От косяков рыбы получаются хорошие отражения, позволяющие находить их и заметывать сети при отсутствии видимости рыбы сверху. Гидролокаторам помогают в работе также гидроприемники направленного действия, которые по характеру шума (прослушиваемого оператором на наушники) и направлению источника шума могут находить в морских глубинах и подводные лодки и косяки рыб.

Эхолоты

С определением высоты полета самолета дело в прошлом обстояло плохо. Прибором, при помощи которого летчик измерял высоту полета, был барометр. Летчик фиксировал показания бортового барометра при

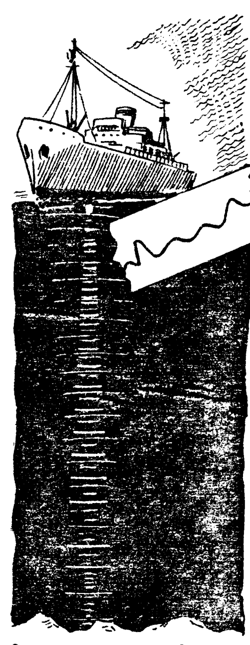
взлете. С набором высоты атмосферное давление, естественно, уменьшается. Поскольку уменьшение нормального давления по мере подъема над земной поверхностью известно, то по показаниям барометра можно судить о высоте полета. Но легко понять, что это суждение весьма относительное. Показания барометра говорят о высоте полета относительно места взлета. Самолет мог подняться на равнине и потом залететь в горы. Барометр будет показывать двухкилометровую высоту, значит, никаких оснований для беспокойства нет, а в действительности, может быть, лишь десяток метров отделяет самолет от горной гряды, а впереди более высокая гряда, в которую самолет врежется. Фактически катастроф по этой причине во время ночных полетов и полетов в тумане или в облаках было сколько угодно. Опасность усугубляется тем, что атмосферное давление непостоянно, оно изменяется в широких пределах в связи с изменением метеорологических условий, а летчик будет воспринимать это, как изменение высоты полета.

Не лучше обстояло дело и на воде. Речники пользовались для измерения глубины шестами с делениями, опускаемыми в воду. Способ мало удовлетворительный, потому что в случае резкого уменьшения глубины судно не успевало остановиться и садилось на мель. Морские судна бросали лот — веревку с грузом. Правильные результаты можно было получить только при остановке или на очень медленном ходу, иначе лот относит. Для выяснения глубины впереди (в незнакомых местах) приходилось высылать шлюпки с промерщиками.

Радиоэлектроника дала авиации и мореплаванию прекрасное средство для измерения высоты и глубины — эхолоты. Они в общем работают по принципу локаторов.

Авиационный радиовысотомер (альтиметр) периодически посылает вниз радиоимпульсы, которые отражаются от земной поверхности (которой может быть и море) и улавливаются прибором. Такой высотомер, или эхолот, непрерывно показывает действительную высоту самолета над землей в данный момент. Кроме того, самолетный радиолокатор может быть направлен вперед под углом к направлению полета для определения расстояния до земной поверхности впереди. Поэтому летчик в совершенно слепом полете всегда прекрасно осведомлен о том, как далеко до земли (или воды) под ним и впереди.

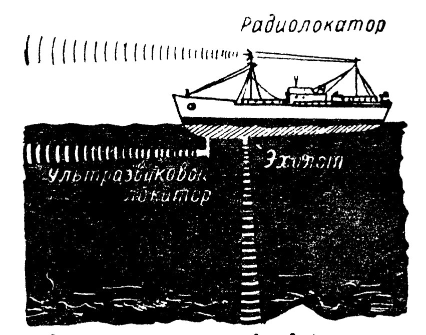
Принципиально такое же устройство, но только ультразвуковое, имеют и суда (рис. 112). Поэтому штурман всегда безошибочно знает глубину под килем. Эхолот, или ультразвуковой судовой локатор, можно направить под углом вниз, тогда штурман будет получать непрерывные сведения о глубине как под килем, так и впереди по ходу судна. Направляя эхолот в разные стороны, можно получить представление о рельефе дна.



Эхолот непрерывно прощупывает дно

Рис. 112.

Именно подобная ультразвуковая эхолотная аппаратура дала возможность в течение нескольких последних лет составить хотя бы предварительные карты морского дна, открыть неизвестные ранее подводные горные цепи



Радиолокатор ультразвуковой локатор и эхолот оберегают корабль

Рис. 113.

и страшные глубины, вроде Марианской впадины (11 034 *м*) или Тускароры (10 377 *м*), в которых целиком может быть потоплен высочайший на Земле гигант Гималаев — Чомолунгма (8 848 *м*). Великие заслуги в деле исследований морского дна принадлежат нашим исследовательским судам во главе со знаменитым «Витязем».

Возвращаясь к авиации, надо отметить, что без надежно действующих радиоэхолотов невозможна слепая посадка самолетов. Вообще эхолоты вместе с локатора-

ми принадлежат к той группе технических средств, которая обеспечивает самое важное — безопасность плавания или полета. Конечно, связь или ориентировка исключительно важны, но в отношении непосредственного значения для жизни экипажа и пассажиров им нельзя соперничать с эхолотами и локацией. Тут невольно вспоминается гибель трансатлантического лайнера «Титаник», потрясшая в 1911 г. весь мир. «Титаник» наскочил в Атлантическом океане на айсберг и затонул. В том месте, где он плыл из Европы в США, айсберги попадаются совсем не часто, но страшная судьба свела их. А теперь морские суда свободно плавают, например, в водах Антарктиды, где много айсбергов. Радиолокаторы, ультразвуковые подводные локаторы и эхолоты надежно оберегают судно (рис. 113).

Другие применения эхолокации

Перечисленными выше видами применения эхолокации круг их не ограничивается. Существуют еще и другие виды использования эхолокации, хотя, может быть, не столь широко распространенные. Например, с успехом пользуются приборами, работающими по принципу эхолокации, для нахождения трещин, раковин и других пороков в материалах. Такие приборы можно назвать эходефектоскопами. Принцип их действия заключается в посылке в исследуемую деталь или отливку ультразвукового импульса и улавливании его отражения. Наблюдение за результатами ведется по экрану электронно-лучевой трубки. Нормально на экране получаются два выброса: от зондирующего импульса и от импульса, отраженного от противоположной наружной поверхности материала. Если на пути прохождения импульса встретится какой-либо изъян, то импульс отразится и от него, и на экране между двумя крайними выбросами появится третий.

«Простреливая» деталь импульсами с разных сторон и в разных направлениях, можно точно определить местонахождение дефекта и его конфигурацию.

Земля тоже не осталась средой, обойденной вниманием эхолокации. Методами эхолокации начинают с успехом пользоваться геологи при исследовании земных недр.

Эти исследования большей частью связаны с поисками руд, угля, нефти и пр. Поиски эти очень трудны. Землю можно бурить, но буровые работы очень дороги, трудоемки и на них приходится затрачивать массу времени. Бурить наугад нельзя. Буровые вышки возводятся там, где различные другие косвенные признаки дают основание ожидать наличия нужных ископаемых.

В качестве одного из таких косвенных способов все шире применяется эхолокация. Материалы, входящие в состав земного шара, проводят механические колебания, которые распространяются в толще земли и, встретив на своем пути препятствие, отражаются от него. Таким препятствием в большинстве случаев бывает граница, разделяющая объемы разного строения или плотности, например границы нефтеносных и угольных пластов, водоносных слоев и всяких других неоднородностей.

Конечно, для создания колебаний, которые могут распространиться в толщу земли и, отразившись, пройти обратный путь, нужны мощные средства. Ими служат обычно взрывы. Порождаемые взрывом колебания распространяются далеко в глубь земли и отражаются от встреченных неоднородностей. Отраженные колебания воспринимаются на поверхности электронной аппаратурой и подвергаются изучению. Сведения, полученные этим способом, сопоставляются и сравниваются со сведениями, которые дают другие способы, и в результате складывается вероятная картина того, что находится в недоступной прямому исследованию толще земли.

Применяемая аппаратура принципиально подобна сейсмографам, служащим для обнаружения землетрясений, определения их силы и эпицентра.

В сфере внимания конструкторов уже давно находится создание легкой и удобной портативной локационной аппаратуры для слепых, которая позволила бы им безопасно ходить, получая от аппарата сведения о характере находящегося впереди пространства. Эта задача трудна, но над ней работают и, надо думать, успешно решат ее.

Развивается и локация (главным образом космическая) при помощи световых лучей — светолокация. Об этом уже упоминалось в разделе, посвященном лазерам, на стр. 136.

ЭВМ (электронные вычислительные машины)

Историю научно-технического прогресса можно проследить на протяжении нескольких тысячелетий. До определенных рубежей прогресс еще не был настолько значителен, чтобы оставить следы, которые мы могли бы прочесть и достаточно достоверно восстановить все его вехи.

Однако общее направление прогресса техники, начиная с самых отдаленных времен, когда человек начал обрабатывать для своих целей камень и палку, было совершенно определенным — облегчить человеку физическую работу и восполнить недостатки его физических сил и органов его чувств.

Мы знаем, как много преуспел человек в этом. Наши машины, наши транспортные средства, наши приборы далеко обгоняют возможности наших мускулов и многих органов чувств.

К сожалению, не так благополучно с тем, что относится к нашей умственной деятельности. Основными достижениями в этой области являются создание письменности и математики. Письменность восполняет недостатки нашей памяти и дает нам возможность запечатлевать мысли для себя, для других людей и для грядущих поколений. Сильно развившаяся математика своим могучим аппаратом (естественно, вместе с развитием других наук) весьма расширила наши возможности и позволила поднять уровень знаний на небывалую высоту.

Но все изумительные достижения человеческого разума лишь подчеркивают то, как он мало сделал для самого себя, для помощи своей умственной деятельности, в частности, в области вычислений.

Стремление механизировать вычисления с помощью различных приспособлений относится к глубокой древности. История сохранила нам памятники, свидетельствующие о применении для арифметических вычислений в древние времена греками и римлянами, например, особых счетных досок, называющихся абаком. В XVII столетии появились уже счетные машины, сперва суммирующие. В 1641 г. создана знаменитая суммирующая машина выдающегося французского математика, физика и философа Паскаля. Через 30 лет известный математик Лейбниц закончил конструирование вычислительной ма-

шины — арифмометра, предназначенного для всех четырех действий. Широко распространенный теперь простой арифмометр («Феликс»), принцип устройства которого используется и теперь при создании большинства самых различных счетных машин, был разработан в 1874 г. инженером Петербургской экспедиции заготовления государственных бумаг В. Т. Однером. В настоящее время для выполнения вычислительных работ в индивидуальном порядке и в счетных бюро используется ряд более сложных ручных полуавтоматических и автоматических полноклавишных вычислительных машин-автоматов.

Это — «малая механизация» инженерного труда, помогающая инженеру значительно повысить производительность своего труда. Но она далеко не достаточна в тех случаях, когда объем вычислительных работ очень велик и требует недель и месяцев труда целых коллективов высококвалифицированных вычислителей.

Лишь в последние годы, достигшая высокой ступени развития техника электронных ламп, полупроводниковая техника, магнитный и иные способы записи электрических сигналов, новейшие материалы вместе со многими другими разделами радиоэлектроники дали возможность создать электронные устройства совершенно нового типа, непосредственно предназначенные для очень существенного облегчения умственной деятельности человека, в том числе и вычислительных работ. Эти устройства в ряде отношений превосходят способности человека и позволяют решать такие задачи, которые до их создания были неразрешимыми.

Со времени, когда было сконструировано первое устройство этого нового типа (и создания Норбертом Винером теоретических основ построения устройств подобного рода), прошло около 20 лет. Техника за эти годы сотворила прямо-таки чудеса в развитии этой новой области знаний. Но в то же время надо сказать, что, вероятно, в истории не было еще такого изобретения, которому было бы дано так много противоречивых оценок и значение которого столь преувеличивалось и преуменьшалось. Надо полагать, что причиной было то, что действительность в этой области чрезвычайно сблизилась с фантастикой, и поэтому оказалось очень легко спутать возможное с желаемым или с измышлениями фантастов.

Та новая отрасль науки и техники, основоположником которой является Н. Винер, была названа им кибернетикой — от соответствующего греческого слова, означающего «управление» (рис. 114). Кибернетика — наука об управляющих и контролирующих машинах. Первая машина была построена во время войны в 1943 г. и предназначалась для расчета полета реактивных снарядов и приведения в действие защитных средств. Решение должно было быть быстрым — в течение тех немногих секунд, которые летел снаряд. Сам

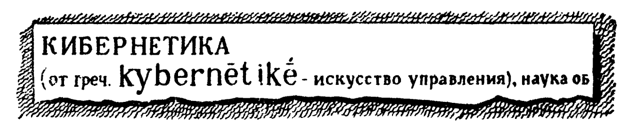


Рис. 114.

человек выполнить подобную работу с такой быстротой не может. Машина не только должна была дать цифры, хотя, может быть, и очень интересные, — она должна была в соответствии с этими цифрами привести в действие систему защиты. Машина получала от разных установок исходные данные, вычисляла по ним траекторию полета снаряда и приводила в действие нужные средства с учетом ожидаемого движения снаряда в ближайшие секунды.

Как видно из этого, целью было управление определенными устройствами. Не потребовалось много времени на то, чтобы понять и оценить необычайное значение не только всего вновь возникшего научно-технического комплекса в целом, но и его отдельных звеньев.

Первый этап деятельности этого «комплекса» заключался в автоматическом сборе нужных сведений. Здесь нет ничего особо нового. Результат работы любого устройства, будь то термометр, радиолокационная станция, микрофон, фотоэлемент высотомер и пр., всегда можно перевести в электрические сигналы и подвести эти сигналы-сведения ко второй части комплекса, осуществляющей их математическую обработку. Именно эта часть и привлекла к себе особое внимание.

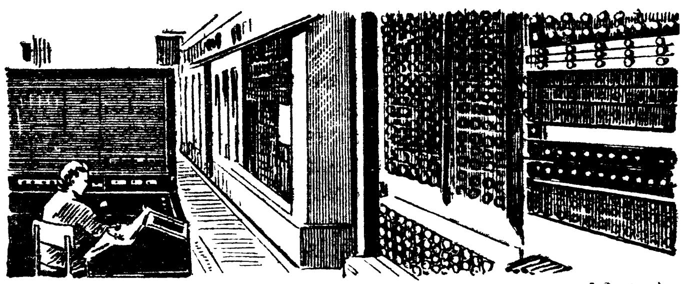
Счетно-исполнительная часть устройства представляет собой электронную счетную машину, работающую

с умопомрачительной быстротой. Ну, сколько чисел — пусть простых двузначных — вы, читатель, сможете сложить в течение секунды? Можно думать, что на то, чтобы произнести мысленно, скажем, 18 плюс 47 и сообразить, что в сумме они дадут 65, вы затратите не менее секунды. А сколько времени нужно вам, чтобы на бумаге или любым другим способом сложить или перемножить два десятизначных числа? Попробуйте из любопытства проделать это. А одна из наших первых электронных счетно-решающих машин проделывала в секунду около десяти тысяч арифметических действий с десятизначными числами. Вероятно, для того чтобы написать два десятизначных числа и сложить их, вам будет нужно не меньше десяти секунд. Если вы будете без передышки, ни на мгновение не отрываясь, работать в таком бешеном темпе, то вы справитесь с 10 000 таких операций часов за тридцать. А машина делает их без единой ошибки за одну секунду. Вернее — не делает, а делала, потому что современные машины работают со скоростями, во много раз большими.

Такие удивительные качества счетной части кибернетических машин привлекли к ней внимание ученых и инженеров всех стран. Подобная быстродействующая счетная машина была нужна и теоретикам и практикам. Стало очевидно, что электронная счетная часть имеет важное самостоятельное значение. Счетная машина может быстро и верно считать, а кроме того, может выполнять большую «умственную» работу — может регулировать процессы, делать выводы, управлять в пределах доступной ей программы действия. Конечно, все поставленные машине задачи должны быть оформлены в специальной математической форме (последовательности переключения команд), пригодной для машины данного типа. Такие машины получают все большее распространение и применяются астрономами для своих расчетов, инженерами для своих, атомниками, экономистами, плановиками, метеорологами и т. п. — для своих.

Познакомимся теперь в самых общих чертах с устройством электронной счетно-решающей машины. Внешний вид большой вычислительной машины дан на рис. 115; она занимает весьма большую комнату; на рисунке показан и ее командный пульт. Можно насчитать шесть ее основных частей.

Первую часть обычно называют вводом. В эту часть машины закладываются все сведения, которые нужны ей для работы. Для этих сведений существует особый код, который может быть назван языком машины. Код этот числовой, однако по ряду причин применяется не десятичная система исчисления, какой пользуемся мы, а двоичная. У этой системы всего две цифры — 1 и 0. Все



Большая электронная счетно-решающая машина (БЭСМ)

Рис. 115.

другие цифры и любые числа выражаются только при помощи этих двух цифр. Это очень упрощает устройство машины, так как все ее переключающие элементы могут иметь только два положения, соответствующие единице и нулю. Вот десять цифр нашей системы, написанные по двоичной системе:

1— 1	6— 110
2— 10	7— 111
3— 11	8— 1 000
4—100	9— 1 001
5—101	0— 0

Применяя только два знака, можно записать любую букву нашего алфавита цифрой двоичного кода с количеством разрядов не более 5. Например:

А — 00000	Д — 00100	И — 01000
Б — 00001	Е — 00101	К — 01001
В — 00010	Ж — 00110	Л — 01010
Г — 00011	З — 00111	М — 01011 и т.д.

Максимальное количество цифр (или букв) при 5 разрядах — 32, при 10 разрядах — 1 024.

Как видим, двоичная система требует большего числа знаков для изображения чисел и букв, чем нужно при использовании десятичной системы, например число 1 965 по двоичной системе выглядит так: 11110101101. Все нужные сведения вводятся в машину обычно перфорированными карточками (карточки с отверстиями) или перфорированными лентами. Во вводной части карточка прощупывается специальными щупами. Там, где пробито отверстие, щупы замыкаются, что соответствует цифре 1. Отсутствие замыкания означает 0. Двоичная система счета более экономична для машин с такими переключателями. Она, между прочим, сходна с системой работы нервных клеток живого организма, которые или передают импульс сигнала, или молчат.

Вторую часть счетно-решающей машины можно назвать памятью. У машин имеется два вида памяти: оперативная память, в которой хранятся кратковременно сведения, которые в дальнейшем не понадобятся, например промежуточные итоги вычислений. Второй вид памяти — длительный или длительного хранения. Здесь хранятся основные сведения, которые могут понадобится в любое время и которые должны быть сохранены до тех пор, пока машина не будет использована для другой работы.

Для элементов памяти применяются различные устройства. Например, широко используются электроннолучевые трубки специального типа. Запись в них производится электронным лучом на экране из диэлектрика. Электронный луч выбивает из пластины электроны, почему в данном месте получается положительный заряд. Считывание производится тем же лучом, который направляется в нужное место экрана отклоняющими электродами. Наличие заряда означает 1, отсутствие заряда — 0. Очень удобными для устройств памяти оказались ферритовые кольца. Они могут быть в двух состояниях — намагничены или нет, чего вполне достаточно для двоичной системы.

Для длительной памяти наиболее часто применяются устройства магнитной записи. Этот вид памяти удобен и отличается большой емкостью. В случае нужды в машине можно применить много аппаратов магнитной памяти и этим увеличить емкость. Кроме магнитофонов обычного типа, применяются также магнитофоны с магнитными

барабанами, на которых записывается до 80 дорожек. На таком барабане хранится до 30 тысяч чисел.

Важнейшей частью машины является ее считающая часть. Электронные счетно-решающие машины могут решать любые задачи, но делают они это очень простыми приемами. Любую задачу можно свести к ряду простейших действий — к сложению и вычитанию. Например, умножение всегда можно заменить сложением. Вместо того, чтобы проделать умножение 2·4, можно четыре раза сложить двойку, т. е. проделать 2+2+2+2. Результат будет тот же.

Основой арифметического устройства машины является сумматор, работающий по принципу счетчиков. Их элементами являются триггеры-ячейки, состоящие из двух электронных ламп или транзисторов; когда одна из них открыта, то другая закрыта, т. е. через первую проходит ток, а через вторую не проходит. При другом положении триггера первая лампа будет закрыта, а вторая открыта. Триггер может занимать только одно из этих двух положений. Триггерные ячейки срабатывают очень быстро, и, несмотря на их большое количество, скорость работы машины исключительно велика.

Следующей частью машины является управляющее устройство. Оно дирижирует всей работой машины, подает команды, когда и какому узлу начинать работу, куда записывать полученные итоги, откуда считывать нужные сведения и т. д.

Управляющее устройство работает по программе, заложенной в машину. Эта программа — подробнейшее руководство к действию. В ней последовательно перечислены все операции, которые должна произвести машина. Поэтому составление программы — ответственнейшее дело, причем очень кропотливое. Программист должен в последовательном порядке записать все действия, перевести их на кодовый язык машины, ввести эту программу в машину. Машине может быть предоставлена известная свобода выбора, но и она должна быть точно очерчена в программе. Если, например, машина должна перепробовать несколько вариантов и выбрать наилучший, то все эти действия подробно указываются в программе.

Последней частью машины является ее вывод. Результат своей работы она переводит на наш язык — на

нашу десятичную систему счета и слова нашего языка, если они должны быть, и печатает все на машинке.

Основное назначение электронной счетно-решающей машины — решение задач и вычисления всех видов. Со всем этим она блестяще справляется. Но она может делать не только это; по установленной программе машине безразлично — умножать или ставить медицинский диагноз. Память машины может хранить исключительно много сведений любого рода, а ее счетный механизм может в любом порядке сравнивать их со вновь введенными сведениями, отбирать одинаковые, сочетать в нужных комбинациях так, как это предусмотрено программой. Поэтому такая машина может с успехом нести службу информации. Надо систематически вводить в память машины аннотации о новинках литературы (конечно, эти сведения должны быть даны в каком-то цифровом коде), и машина по требованию выдаст вам исчерпывающую справку о той литературе, какая содержит нужные вам сведения. Для этого ей придется «пробежать» все сведения, хранящиеся в ее памяти или в указанном разделе памяти. Этих сведений может быть миллионы, но машина работает с молниеносной быстротой, и нужная справка будет выдана машиной очень скоро. Качество ее работы будет зависеть от того, как целесообразно продумана программа ее работы, как правильно были составлены введенные в нее сведения.

Кибернетика

В литературе и в жизни кибернетику и электронно-вычислительную технику часто путают и считают, что это одно и то же. Действительно, у кибернетических машин и у электронных счетно-решающих машин есть много общего, фактически это одна группа приборов, работающих по заданной программе. В зависимости от типа машина может принять более сложную или более простую программу. В зависимости от программы машина будет включать свои триггеры-переключатели, мало «задумываясь», что она включает в свои выводы: музыкальный ли аккомпанемент, извлечение квадратного корня или медицинский диагноз.

Кибернетика — научное направление, задачи которого были сформулированы в работах американского уче-

ного Норберта Винера, опубликованных в 1948 г. По Винеру и его последователям, кибернетика есть наука о «связи», «управлении» и «контроле» в машинах и живых организмах. Не исключаются из рассмотрения и случаи, когда указанные случаи осуществляются коллективами людей и людьми при помощи машин. Если машина или организм способны воспринимать и использовать информацию о результатах своей деятельности, то говорят, что они обладают органами обратной связи. Переработку такого рода информации в сигналы, корректирующие деятельность машины или организма, называют в кибернетике контролем или регулированием. Поэтому кибернетику определяют как **науку о способах восприятия, хранения, переработки и использования информации в машинах, живых организмах и их объединениях**.

В своей последней книге «Я — инженер» (русский перевод, издательство «Наука», 1964) автор кибернетики Винер (1895—1964) пишет о возникновении этого термина:

«Я упорно трудился, но с первых же шагов был озадачен необходимостью придумать заглавие, грубо обозначить предмет, о котором я писал. Вначале я попробовал найти какое-нибудь греческое слово, имеющее смысл «передающий сообщение», но я знал только слово «angelas». В английском языке «angel» — это ангел, т. е. посланник бога. Таким образом, слово «angelas» было уже занято и в моем случае могло только исказить смысл книги. Тогда я стал искать нужное мне слово среди терминов, связанных с областью управления или регулирования. Единственное, что я мог подобрать, было греческое слово Hybernētēs, обозначающее «рулевой» или «штурман». Я решил, что, поскольку слово, которое я подыскивал, будет употребляться по-английски, следует отдать предпочтение английскому произношению перед греческим. Так я напал на название «кибернетика». Позднее я узнал, что еще в начале XIX века это слово использовал во Франции физик Ампер, правда, в социологическом смысле, но в то время мне это было неизвестно. В слове «кибернетика» меня привлекало то, что оно больше всех других известных мне слов подходило для выражения идеи всеобъемлющего искусства регулирования и управления, применяемого в самых разнообразных областях».

Можно добавить, что физик Ампер (в честь которого названа единица силы тока), занимаясь классификацией науки, назвал в 1843 г. кибернетикой науку об управлении государством. Это же слово можно найти в сочинениях греческого философа Платона (IV век до нашей эры), где он этим словом обозначает искусство управлять кораблем, искусство Кормчего в прямом смысле и даже в переносном смысле, т. е. в смысле искусства управлять людьми.

Название кибернетика означает управление. В соответствии с этим кибернетическими машинами надо считать такие машины, которые предназначаются для управления какими-нибудь процессами или для каких-нибудь целенаправленных действий. В состав кибернетической машины входит электронное счетно-решающее устройство, которое, получив программу и выполнив задание, выдает результаты в виде сигналов, управляющих теми или иными действиями. Кибернетическая машина может получать задания на работу в виде введения в нее программы-приказа, но она может дополнительно подчиняться распоряжениям, получаемым от своих датчиков, устройств, сигналов от других машин. В зависимости от характера полученных машиной сведений-приказов она примет с помощью своего счетно-решающего устройства то или иное решение и передаст его исполнительным органам, приведя их в действие или изменяя — нужным образом их действие. В такой работе может не быть законченного цикла. Машине может быть, например, доверено непрерывное управление энергосистемой или производством на заводе, и она будет в зависимости от нагрузки включать и останавливать электростанции, включать дополнительные агрегаты, переключать станки на другую работу и пр.

Всю такую работу машина выполнит лучше человека — она не заснет, не устанет, не будет отвлечена чем-нибудь, она с недоступной человеку быстротой оценит обстановку и примет наивыгоднейшее решение и пр. Даже при длительном обдумывании человеку может быть трудно правильно учесть слишком много различных обстоятельств, показания сотен приборов и др., машина же сделает это в доли секунды. Именно эта быстрота работы делает кибернетические машины часто незаменимыми. Например, работа радиолокатора, объединенного

с приборами управления стрельбой, часто происходит при весьма небольшом участии человека: радиолокатор автоматически следит за быстро передвигающейся целью, определяет ее координаты, рассчитывает возможное положение цели в ближайшие секунды, устанавливает с учетом такого предупреждния место ожидаемой встречи снаряда с целью, приводит в действие систему управления стрельбой.

В последнее время электронно-вычислительные машины используются для выработки оптимального плана производства как в масштабе одного предприятия, так и в масштабе целых отраслей промышленности.

Оптимальное решение при планировании — очередная задача, решаемая, конечно, с большими трудностями и стоящая очень недешево. Дело в том, что для введения годных для ЭВМ данных необходимо перестроить систему учета и планирования ряда предприятий, выработать необходимую систему всякого рода учета и сбора необходимой информации. Такие опыты ведутся непрерывно, вырабатывается план организации для районов, областей и всей страны единой системы учета и объединения электронно-вычислительных машин в вычислительные центры, обслуживающие нужды экономики и промышленности.

Кибернетического характера машины проектируется ввести в учебно-педагогическую систему обучения. Испытываются машины для проведения экзаменов обучающихся и для самого процесса обучения. Во многих школах имеются самодельные экзаменаторы простейшего вида: выставляется ряд вопросов и ряд ответов на каждый вопрос, причем среди ответов только один правильный для каждого вопроса при нескольких неправильных. Обучающийся нажимает ряд кнопок и в зависимости от их выбора получает от машины оценку таких знаний.

Сложные кибернетические машины могут регулировать уличное движение, могут анализировать строй стихосложения. О бывшем чемпионе мира по шахматам Ботвиннике недавно сообщено в газетах, что он отказался снова оспаривать шахматную корону и занялся научной работой — разработкой программы игры в шахматы для электронно-вычислительной машины.

У людей при заболевании разными болезнями быва-

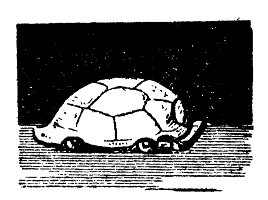
ют различные симптомы, различные изменения температуры, состава крови, давления крови и пр. У разных лиц возможны известные варианты симптомов. Человеку трудно держать все это в памяти, но машина может помочь ему. Если в память машины ввести сведения о протекании разных болезней у тысяч человек, то машина может ставить диагнозы. Она сравнит результаты исследования больного с хранящимися в ее памяти сведениями и выберет наиболее подходящий, т. е. наиболее вероятный диагноз. Такие машины есть, и они хорошо работают. Машина ставит диагнозы обычно правильнее врачей. Известно много случаев, когда целые консилиумы врачей-специалистов приходили к другим выводам, нежели указывала машина, но потом течение болезни показывало, что машина была права.

Счетно-решающая машина может переводить с одного языка на другой. Для этого надо ввести в ее память нужный запас слов, правила их сочетания и грамматические правила, и машина может делать переводы. Интересно отметить, что машинный перевод совсем не является таким простым и легким делом, как иногда думают или иногда изображают в печати. Далеко не все, связанные с языком, понятно. В структуре языка и в процессе речи есть еще много невыясненного, поэтому составить исчерпывающую программу для переводческой машины пока не представляется возможным. В настоящее время машины делают только переводы наиболее примитивных технических текстов, состоящих из ограниченного числа слов.

Попытки переводить более или менее сложные фразы кончаются конфузом. Английский ученый Д. Берналл рассказывал, что в Англии одной переводческой машине задали перевести на русский язык английскую фразу: «Out of sight, out of mind». Буквально это означает: «Вон из глаз — вон из памяти». На русский язык это надо было бы перевести пословицей «С глаз долой, из сердца вон». Русский текст, который «выдала» машина, англичане не поняли и поэтому для проверки заказали машине сделать обратный перевод составленной ею фразы с русского языка на английский. К всеобщему изумлению, проделанный машиной обратный перевод на английский язык гласил: «Невидимо, идиот». Такой результат объясняется тем, что слова «вон из глаз» машина перевела,

как «невидимо», а «вон из сердца», как «бессердечно», «безумно», «сумасбродно», «идиотично».

Совершенно очевидно, что для того, чтобы машина могла проделать литературно грамотные переводы, в нее должна быть введена масса слов, пословиц, поговорок, устойчивых словосочетаний и т. п. и, конечно, подробные грамматические правила данного языка. О том, какая грандиозная работа должна быть выполнена для этого, можно судить по примеру, приведенному в книге академика А. И. Берга «Кибернетика — наука об оптимальном управлении». В этом примере рассказывается о том, что в машину, предназначенную для перевода, был заложен русско-английский словарь всего из 250 слов и 6 правил грамматики. Последовательность действий машины определялась 2 400 командами. Для составления словаря, шести правил грамматики и разработки команд потребовалась полуторагодичная работа большой группы инженеров и языковедов.



Кибернетическая „черепаха"

Рис. 116.

Можно себе представить, какой невероятный труд понадобится для создания машины, которая действительно смогла бы заменить квалифицированного переводчика.

Существуют кибернетические игрушки: «Мышь Шеннона» и «Умная черепаха». «Мышь Шеннона» — маленькая игрушка устанавливается у входа в лабиринт. Двигаясь вслепую влево-вправо, она отыскивает пути движения по лабиринту до тех пор, пока не доберется до выхода, где ее ожидает символический «кусочек сала». Машина имеет довольно сложную электронно-вычислительную систему с такой программой действия, что вторично поставленный на входе «мышонок» второй раз добирается до «сала» самым коротким путем; она движется уже по оптимальному маршруту.

«Черепаха» тоже имеет довольно сложную схему. Она может двигаться (рис. 116) на произвольно установленный на полу источник света, причем при своем движении обходит устанавливаемые на полу препятствия. Более сложные и дорогие «черепахи» могут направляться на специальную освещенную розетку осветитель-

ной сети и включаться в нее для подзарядки аккумуляторов — своей силовой установки.

За последнее время научная мысль устремлена на решение проблемы самообучающихся (думающих) электронно-вычислительных машин. Эта машина работает по определенной программе, в которую могут быть внесены некоторые изменения самой машиной в зависимости от конечных результатов ее работы. При следующем цикле работы машина будет руководствоваться новой (несколько измененной) программой, измененной самой машиной. Самообучающиеся электронно-вычислительные машины представляют, по-видимому, ближайший этап развития этой отрасли науки и техники.

Надо добавить, что системы переключателей и управления ими (т. е. то, что составляет основу кибернетических машин) могут быть выполнены без помощи электроники. Существуют системы гидравлического управления механизмами, гидравлические усилители. За последнее время входят в словарь такие разделы, как пневмоника, хематроника. Эти названия составлены по образцу «электроники». Действительно, схемы воздухопроводов, разветвлений, триггеров, клапанов-переключателей довольно удачно копируют электронные схемы кибернетического характера. Они также легко поддаются режиму работы по законам математической логики, решают весьма сходные задачи управления и регулирования механизмов. Недостатком пневмоники является малая скорость срабатывания, однако простота элементов и надежность системы будут, по-видимому, выше, чем у электронных устройств. Хематроника, — еще более медленная система управления и счета — использует для переключения химические явления.

Аппаратура космических кораблей

Далеко не все достаточно ясно представляют себе, что все успехи в завоевании космического пространства обязаны главным образом радиоэлектронике. Может быть, ни в каком другом случае вся гибкость, многообразность возможностей и могущество радиоэлектроники не проявляются столь ярко и выпукло, как во всем, что связано с проникновением в космос.

Когда ракеты еще не поднимались высоко в небо, радиоэлектроника уже полным ходом работала «на космос». Сигналы радиолокационных станций достигали Луны и, возвратившись после отражения обратно, подтверждали возможность космической радиосвязи. Электронные счетно-решающие машины вычисляли орбиты, подбирались датчики для определения физических свойств космического пространства, конструировалась аппаратура для работы в условиях как страшной перегрузки, так и полной невесомости. Шли эксперименты с солнечными батареями для питания аппаратуры, разрабатывались системы телеметрии (измерений на расстоянии) и пр.

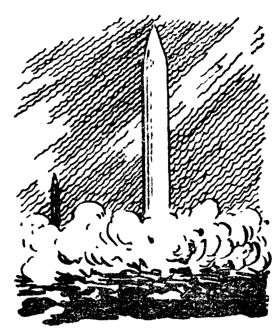


Рис. 117.

Но вот окрестности ракетного космодрома потряс оглушительный рев огромных ракет (рис. 117), и космические корабли устремились в небо. В каждой такой ракете — целая лаборатория сложнейшей радиоэлектронной аппаратуры. Космическая ракета прежде всего по сути дела представляет собой кибернетическую машину, точно действующую по введенной в нее программе. Сложная схема командует ракетой, отбрасывает отработавшие ступени, включает следующие, регулирует работу двигателей, выводит корабль на орбиту, отбрасывает колпаки, выпускает антенны, ориентирует их в нужном направлении, с помощью ряда гироскопов, установленных на космическом корабле, включает измерительную аппаратуру и т. д. Человек на борту в минуты запуска лишен возможности делать что-либо — он лежит, прижатый к креслу многократно утяжелившейся массой своего тела. Кроме того, он ведь всего лишь человек, он не может работать так быстро и так точно, да, пожалуй, и так хладнокровно, как машина.

Эта кибернетическая машина командует всем до самого конца полета. Человек может отключать ее и брать управление в свои руки, может даже выйти из корабля и «шагнуть» в космос на скорости 8 000 *м/сек.* Мы зна-

ем, что наши космонавты делали это, но только на короткое время. Даже посадку космического корабля может выполнить автоматика.

На борту корабля — серия передатчиков. С их помощью космонавты держат связь с Землей или с другими космонавтами в групповом полете, через них передаются телевизионные изображения, показания измерительной аппаратуры, все телеметрические данные. Серия приемников служит для связи космонавта, для управления телевизионными камерами, для управления механизмами корабля и пр. Несколько телевизионных камер составляют телевизионное оснащение корабля. Они дают нам возможность, сидя дома перед своими телевизорами, видеть космонавтов и внутреннее устройство корабля.

Автоматика следит за режимом кабины космонавта, за ее микроклиматом, она поддерживает нужное давление, нужный состав воздуха, производит зарядку источников питания всех установок и приборов, производит ориентировку корабля и т. д. Радиоэлектронное оборудование космического корабля представляет собой исключительно сложный комплекс всевозможной радиоэлектронной аппаратуры, сверхтщательно выполненный и отрегулированный.

Наземное оборудование, обслуживающее космический полет, — это тоже чрезвычайно сложный и разветвленный комплекс радиоэлектронной аппаратуры, расположенный во многих десятках географических пунктов нашей страны: набор передатчиков для связи с кораблем и для передачи команд аппаратуре, радиолокационные станции слежения, электронная счетно-решающая машина, по данным локаторов и другим данным вычисляющая орбиту корабля и ее изменения, аппаратура для связи со станциями слежения, аппаратура для записи всех сигналов, поступающих от корабля, в том числе телевизионных, для расшифровки данных телеметрических систем и пр. Словом, выставка радиоэлектронного оборудования космического корабля и пунктов его запуска и обслуживания его полета, по существу, была бы хорошей выставкой современной радиоэлектроники, представленной в лучших образцах аппаратуры и приборов, сверхминиатюрных и компактных по выполнению и исключительно надежных по качеству рабо-

ты. Здесь все ответственные узлы дублированы и автоматически заменяются, если в этом возникает нужда.

Радионавигация

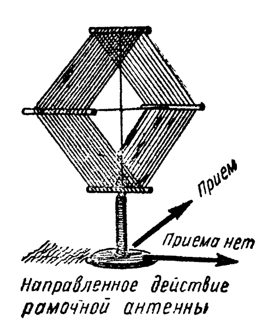
Слово навигация происходит от латинского слова navigatio — мореплавание. Термин навигация имеет у нас несколько значений. В данном случае выбрано то из них, которое обычно толкуется, как искусство безопасного кораблевождения. Это понятие имеет еще более узкий подсмысл, который может быть охарактеризован, как искусство находить правильное направление пути в трудных условиях, например при отсутствии видимых ориентиров. Этот термин перешел в авиацию и, когда не имеется сомнений, применяется обычно вместо термина авианавигация. Общий смысл термина при этом сохраняется.

Многовековая практика мореплавания выработала удовлетворительные по своему времени приемы навигации в этом ее смысле. Суда с помощью лагов определяли с какой-то точностью пройденный путь, высота солнца в полдень в сопоставлении с датой указывала на широту места, а сверка показания судового хронометра с местным временем, определяемым по высшему положению солнца, позволяла вычислить долготу. Главнейшими навигационными приборами были магнитный компас, часы да разве еще звезды.

Пользуясь этими средствами навигации, суда успешно плавали и, вообще-то, приплывали, куда им было нужно. Но надо сказать, что такая «техника» удовлетворяла только в эпоху малых скоростей. Для того чтобы «поймать солнце», нужно было ясное небо; компас, как выяснилось, мог показывать неверно, так как на него влияли магнитные бури и другие причины, а хронометров, длительно сохранявших правильность показаний, вообще не существовало.

С возрастанием скорости судов неудовлетворительность этих средств навигации становилась все явственнее. Ошибка в счислении курса дорого стоила мореходным компаниям. Особенно нетерпимым положение со средствами навигации стало после возникновения авиации с ее большими скоростями. Компас для самолета совсем не является надежным прибором из-за недоста-

точной точности показаний и подверженности воздействию многих внешних причин вплоть до известных магнитных аномалий. А ведь для самолета точность выхода к месту назначения имеет первенствующее значение, потому что он не может совершить посадку, где придется, ему нужен соответственно оборудованный аэродром. Плохо обстояло дело с ориентировкой самолетов при ночных полетах или в тумане, когда видимость земных объектов отсутствует. Наука, когда понадобилось, потрудилась и создала неплохую замену компасу — гироскоп (жироскоп), волчок, сохраняющий первоначальное направление своей оси независимо от магнитных полей. Космическому кораблю мало полезны магнитные полюсы земли, но движение в космосе происходит с весьма большой точностью по ориентирам галактики с помощью нескольких гироскопов.



Направленное действие рамочной антенны

Рис. 118.

Радио пригодно не только для передачи сообщений на расстояние без проводов, но и для целей определения нужного курса и местоположения, причем как и во всем, что относится к радио, работа этих средств радионавигации одинакова и днем и ночью и не зависит от видимости.

Радиоволны распространяются прямолинейно. Это обстоятельство вместе с возможностью постройки направленных антенн для излучения радиоволн и для их приема и дало возможность создать средства радионавигации.

Направленная приемная антенна позволяет установить направление на радиостанцию. Наиболее простой направленной антенной является рамочная антенна или рамка (рис. 118). Такая антенна принимает тогда, когда она направлена на передающую станцию плоскостью своих витков. В перпендикулярном направлении прием очень слабый. Если мы будем, поворачивая антенну в разные стороны, находить положение наибольшей громкости приема и станем двигаться в этом направлении, то в конце концов выйдем на радиостанцию.

Определение направления на радиостанцию при по-

мощи направленной антенны носит название взятия пеленга или пеленгации. Таким образом, по пеленгу на станцию мы можем вывести корабль или самолет прямо на нее. Служащая для этой цели радиостанция часто называется приводной (рис. 119). На аэродроме или в морском порту достаточно иметь такую приводную радиостанцию, чтобы самолеты или корабли безошибочно прибыли к месту назначения. Такая приводная станция — их иногда называют радиомаяками — может пе-



Рис. 119.

редавать любую программу, обычно они передают грамзапись и время от времени перемежают ее своим отличительным позывным, например какой-нибудь буквой по азбуке Морзе.

Техника использования приводных станций стоит теперь очень высоко. Пилот самолета вовсе не должен сидеть с телефонами на ушах, крутить направленную антенну и каждую минуту проверять, не сбился ли он с правильного направления. Теперь самолеты снабжаются «умными» установками, так называемыми автопилотами с гироскопами, которые поддерживают заданную высоту полета, скорость и пр. Управление полетом происходит автоматически. Летчик, вообще говоря, может взлететь, «привязать» автопилота к нужной станции и бросить штурвал. Автопилот будет автоматически весь полет держать курс на приводную радиостанцию (радиомаяк).

При потере ориентировки на корабле или самолете можно включить радиопередатчик и попросить две радиостанции запеленговать. Они делают это и определяют направление на бортовой передатчик. Теперь надо от этих станций на карте проложить прямые линии в най-

денных ими направлениях, и точка пересечения линий будет точкой местонахождения самолета или корабля. Кроме того, существуют специальные системы навигационных радиостанций, расположенных в разных местах, но работающих непрерывно на одинаковых длинах волн. Эти излучения создают интерференционную географическую сетку узлов и пучностей, позволяющих с достаточно большой точностью прокладывать путь в океане или в воздухе.

Собственный радиолокатор самолета тоже может существенно помочь в ориентировке. Существуют радиолокационные станции, которые воспроизводят на экране, как на карте, находящуюся по самолетам местность. Зная трассу, по которой он летит, и имея ее карту, летчик всегда может сопоставить карту с изображением на экране локатора и определить, где он находится (конечно, за исключением полета над океаном).

Давно уже создана и сложная аппаратура для слепой посадки самолетов. Радиомаяки могут не только вывести самолет точно на аэродром, но и помочь ему произвести посадку. Специальная аппаратура создает в пространстве снижающийся «проход» из направленных радиолучей. Снижаясь, летчик руководствуется определенным сигналом, который не меняется, если самолет не выходит из «прохода». При выходе из него сигнал резко изменяется, и летчик изменяет направление, чтобы попасть в нужную зону. По высотомеру он видит свою высоту над землей. Нужно, конечно, отметить, что слепая посадка требует сложной аппаратуры и еще не вошла широко в авиационный быт. Многие читатели, наверное, сталкивались с необходимостью отсиживаться на промежуточном аэродроме, ибо киевский, казанский или какой-то другой аэродром из-за отсутствия видимости отказывается принимать самолеты целыми сутками. Конечно, летчики предпочитают делать посадку не вслепую.

Здесь мы только вскользь познакомились со средствами радионавигации.

Радиоастрономия

Небо, звезды, далекие миры давно интересуют человека. Этот интерес не был чисто отвлеченным. Руководствуясь небесными светилами, находил человек путь на

водах морей и океанов, в песках пустынь. Смена дней и ночей, недель и месяцев, сезонов и годов, разливы рек, посевы хлебов, сбор урожая — все это связано с движением Солнца, Луны, планет и звезд. Сама жизнь заставляла человека все внимательнее изучать небо и присматриваться к небесным явлениям.

Наука о небесных телах получила название астрономии. Астрономия — одна из древнейших наук. С ней связаны многие сооружения древности. Египетские пирамиды самым своим положением связаны с астрономическими константами. В Самарканде сохранились развалины древней обсерватории, построенной внуком «железного Тимура» — Улугбеком (рис. 120), составившим точные по тому времени каталоги звезд и таблицы движения планет.

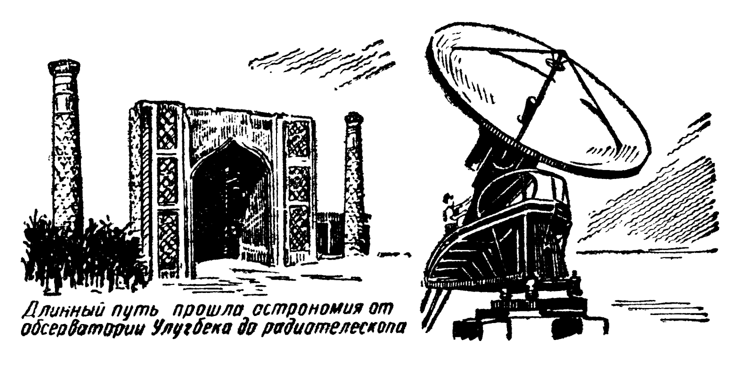


Рис. 120.

Переломным моментом в развитии астрономии была постройка Галилеем зрительной трубы, что произошло примерно три с половиной века назад. Пользуясь своей трубой, Галилей открыл горы на Луне, обнаружил у Юпитера 4 спутника и т. д. С тех пор средства, которыми располагает астрономия, прошли трудный, но славный путь прогресса. Каждая страна имеет несколько — иногда десятки — прекрасно оснащенных обсерваторий. Наука о небесных телах продвинулась далеко вперед, несмотря на огромную трудность изучения — ведь ближайший из изучаемых объектов Луна удалена почти на 400 тыс. *км*, а все другие гораздо дальше; для звезд счет идет уже на тысячи миллиардов километров.

За все время существования астрономии единственным агентом, связывавшим нас с другими мирами, были лучи света. Надо сказать, что, изучая доходящие до нас лучи света, человек сделал огромные успехи в познании окружающей Вселенной. Составлены подробнейшие звездные атласы, определены расстояния до большинства крупных звезд, имеются представления об их объеме, массе, температуре, движении, достаточно полно изучена наша солнечная система и т. д.

Но все же одних лучей света недостаточно для глубокого изучения Вселенной. Было бы очень нужно получить сведения о Вселенной какими-нибудь другими способами, которые дополнили бы «световой» способ. Эта задача долго казалась неразрешимой. Дело в том, что атмосфера и другие имеющиеся у земного шара оболочки пропускают только световые лучи и небольшие участки прилегающих к ним инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. В оболочках Земли было своего рода «окно», прозрачное только для видимых световых лучей. Оно так и было названо «окном прозрачности».

Однако в дальнейшем исследования показали, что радиоволны определенного участка диапазона — примерно от 1 *см* до 30 *м* (от 30 000 *Мгц* до 10 *Мгц*) тоже проходят через земные оболочки. Значит, в этих оболочках есть еще одно «окно прозрачности», которое может быть использовано для исследования Вселенной. Ученые немедленно приступили к изучению возможностей этого использования.

Так зародился большой самостоятельный раздел астрономии — радиоастрономия. Для приема радиоволн, приходящих из космоса в указанном диапазоне, были построены большие направленные антенны — так называемые радиотелескопы. Радиотелескопы с поперечником зеркала в несколько метров и несколько десятков метров обычны. В Европе есть радиотелескоп, состоящий из 104 отдельных установок, расположенных в виде двух перекрещивающихся аллей. Каждый из 103 радиотелескопов имеет в диаметре 30 *м*, а 104-й — 70 *м*. Длина каждой аллеи 3 *км*.

Антенна настроена на волну водорода — 21 *см*. Ее чувствительность исключительно велика. Направление на излучатель при помощи этого телескопа можно определить с точностью до одной угловой минуты. Управляет

установкой электронная счетно-решающая машина.

У нас под Серпуховым строится тоже крестообразный радиотелескоп большой чувствительности и больших размеров, лучи которого ориентированы с севера на юг и с востока на запад (рис. 121). Он рассчитан на диапазон волн от 2,5 до 10 *м*.

Радиоастрономия сделала уже много открытий важнейшего научного значения. Тщательное «прощупывание» неба радиотелескопами показало, что через «радиоокно прозрачности» на Землю отовсюду поступают радиоволны. Источниками их являются определенные объекты. Многие далекие туманности шлют к нам своих радиопосланцев. В просторах Вселенной оказалось много темных космических тел или скоплений материи, которые являются постоянными источниками радиоволн. Раньше они просто не были известны астрономам, потому что световые волны они не излучают и мы их не видим. Особенно мощные источники радиоволн имеются в созвездиях Кассиопеи и Лебедя. По своей «радиояркости» они сравнимы с нашим Солнцем. Источник радиоизлучения в созвездии Лебедя находится от нас на расстоянии, по-видимому, около 660 млн. световых лет.

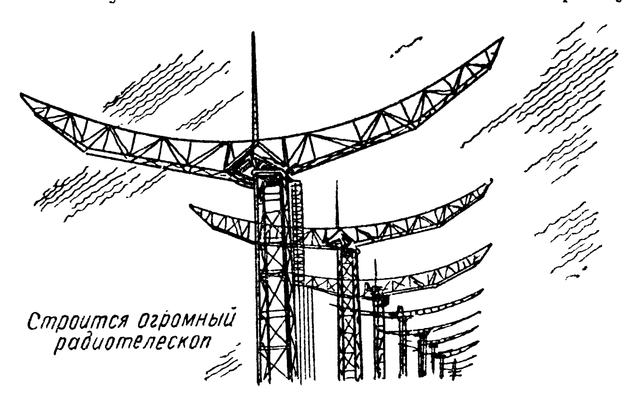


Рис. 121.

Но это расстояние, которое по-настоящему и представить-то себе невозможно, совсем не предел. В последнее время внимание радиоастрономов всех стран привле-

кает к себе объект 3С 273-В, находящийся неподалеку от созвездия Девы. (3С означает «третий кембриджский» — третий кембриджский звездный каталог. 273— номер объекта по этому каталогу). Удален этот объект от нас на расстояние около полутора миллиардов световых лет. Есть основания считать объект 3С 273-В каким-то новым, неизвестным нам ранее космическим образованием. А в конце 1964 г. наши радиоастрономы приняли в Серпухове на 22-метровом радиотелескопе излучение, посылаемое на волне 3 *см* туманностью «Омега». На преодоление расстояния туманность «Омега» — Земля радиосигналы затрачивают «всего» около пяти тысяч лет.

Постоянным источником радиоизлучения на волне 21 *см* является водород, атомы которого носятся в межзвездном пространстве. Фотоны резонансной частоты переводят атомы водорода в возбужденное состояние, что выражается в изменении направления спина у единственного электрона, имеющегося в атоме водорода. При возвращении атома в состояние с наименьшей энергией излучается фотон той же частоты, т. е. соответствующий радиоволне 21 *см*.

Планеты нашей солнечной системы тоже излучают радиоволны. Все эти излучения тщательно изучаются.

Радиоастрономия имеет возможность не только улавливать и изучать радиоволны, доходящие до нас от космических объектов. Она имеет возможность сама облучать эти объекты радиоволнами и подвергать исследованию их отражение. Мы имеем в виду радиолокацию. После первых опытов, проведенных в 1946 г., состоявших в посылке радиолокационных сигналов на Луну, подобные эксперименты были повторены много раз. Лоцированы Солнце, Меркурий, Марс, Юпитер.

Радиолоцирование небесных тел преследует несколько целей. Прежде всего, конечно, оно дает возможность установить условия проходимости радиоволн различной длины через земные оболочки и подобрать наиболее подходящие волны для связи с искусственными спутниками и космическими кораблями. Во-вторых, лоцирование позволяет уточнить расстояние до космических объектов, так как данные радиолокации наиболее точны. Например, для измерения космических расстояний применяется единица, равная среднему расстоянию между центрами

Солнца и Земли. Радиолокация дала возможность определить его гораздо точнее, чем оно было определено другими способами. Насколько это существенно, показывает такое сопоставление: если бы в соответствии с прежним значением указанной единицы с Земли на Марс была совершенно точно послана ракета, то она прошла бы мимо Марса на расстоянии нескольких тысяч километров. В-третьих, радиолокация дает возможность судить о характере поверхности планет. Долгое время между учеными велись споры о том, что представляет собой поверхность Луны. Большинство склонялось к тому, что Луна покрыта пылеобразной массой, образовавшейся благодаря бомбардировке метеорами. Радиолокационные исследования Луны показали, что ее поверхность тверда, но пориста. Кстати, есть некоторые основания утверждать, что недра Луны горячи. Надо полагать, что действительная проверка этих предположений не за горами.

Указанными областями отнюдь не ограничиваются услуги, оказываемые радиолокацией астрономии. Вот еще один пример. Вторая от Солнца планета нашей системы — Венера всегда закрыта густыми облаками. Это не давало возможности составить представление не только о ее поверхности, но даже о скорости ее вращения вокруг своей оси. Свет не проходит через облака, но радиоволны пронизывают их, и вот результат: вращение Венеры очень медленно, один оборот она делает за 200—300 земных суток. Удалось получить предварительные сведения и о характере поверхности Венеры. Коэффициент отражения от ее поверхности такой же, как от земных скальных пород. Это опровергает существовавшее ранее предположение, что поверхность Венеры покрыта водой.

Радиоастрономия только начинает свой разбег. Но уже с несомненностью видно, что ее возможности велики, особенно если учесть своеобразную «гибридную» форму соединения оптической астрономии и радиоэлектроники. Она например, может состоять в следующем: оптический прибор (телескоп) помещается на искусственном спутнике, где никакая атмосфера не помешает ему работать, а «результаты» его работы одним из радиоспособов передаются на землю (либо прямым телевизионным способом, либо передачей фотоснимков). Ученые давно

мечтают о такой заатмосферной обсерватории, теперь эта мечта начала осуществляться — фотографирование невидимой с Земли стороны Луны было в этом отношении «первой ласточкой». При этом радиоэлектроника обеспечивает полное управление космической обсерваторией — ее ориентировку, наводку и все управление.



Рис. 122.

Весьма возможно, что лазеры (рис. 122) тоже займут свое место в астрономии. Первые попытки в этом направлении уже сделаны (светолокация Луны).

Звукозапись

Немногим больше, чем через десяток лет, звукозапись может праздновать свой столетний юбилей. Очень

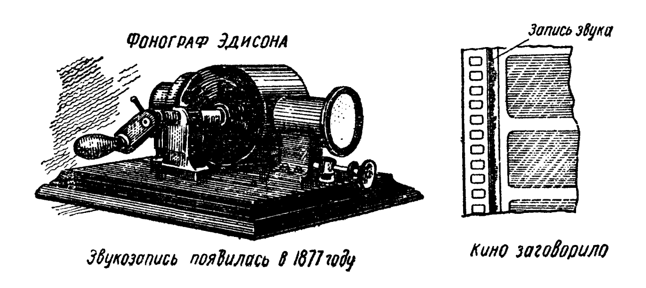


Рис. 123.

разносторонний американский изобретатель Т. Эдисон подал заявку на изобретение фонографа в 1877г. (рис. 123). Через 10 лет Э. Берлинер, тоже американец,

подал заявку на изобретение граммофона, в котором запись и воспроизведение ведутся на дисках — на общеизвестных граммофонных пластинках.

Граммофон привился. Он получил распространение не только в технике, но и в быту. Нельзя умалить роль, сыгранную им в продвижении музыкальной культуры в широкие массы. Но звукозапись влачила, если можно так выразиться, не особенно завидное существование. Записывать можно было только громкие звуки, поэтому исполнителям приходилось говорить или петь в самый рупорный звукоуловитель. Записывались лишь колебания в довольно узкой полосе частот, пластинки были недолговечны, допуская малое число проигрываний, после чего начинали страшно «шипеть».

В тридцатые годы нашего века на помощь звукозаписи пришла радиоэлектроника. Прежде всего была реорганизована запись. Перед исполнителем появился микрофон, уловленные им колебания преобразовывались в электрические и усиливались. Стало возможно записывать звуки в широком диапазоне громкости и частот. Изменился и способ воспроизведения. Непосредственно с пластинки запись снимает звукосниматель, обычно пьезоэлектрический, преобразующий механические колебания в электрические, которые затем усиливаются и воспроизводятся громкоговорителями. Стало возможно регулировать громкость и тембр воспроизведения, качество которого стало очень хорошим. Электропроигрыватели грампластинок были объединены с радиоприемниками (это сочетание называется радиолой), в результате чего распространение грампластинок увеличилось во много раз.

Но этим дело не ограничилось. Радиоэлектроника дала возможность создать новые виды звукозаписи. Первой из них была оптическая звукозапись.

Для чего потребовалось записывать звук оптическим способом? Требования в этом отношении предъявило кино. С момента своего изобретения кино было немым. Кинокартины демонстрировались под аккомпанемент рояля. Создалось смешное положение: техника умеет демонстрировать движущиеся изображения, умеет механически записывать и воспроизводить звук, но кинофильм озвучить не может. Многочисленные попытки не дали результата. Надо понять, почему это происходило.

Препятствовала этому прежде всего трудность записи, о которой мы только что говорили. Говорить или петь приходилось в самый раструб звукоуловителя. Исполнители же фильма ходят, бегают, дерутся и т. п. Ни о каком стоянии перед раструбом звукозаписывающего аппарата не могло быть и речи. Поэтому такого озвучивания, который на киноязыке называется синхронным, быть не могло. Есть и другой способ — послеозвучивание. Актер, снимаясь, говорит нужные слова, так что движения его рта соответствуют тексту фильма. Пластинка же со звуковым сопровождением записывается позже, причем актер смотрит на экран и произносит тот же текст. Потом пластинка запускается вместе с фильмом.

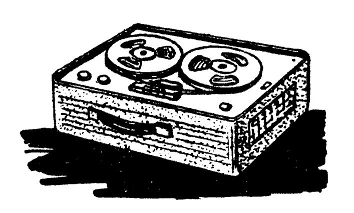
Но практика показала, что фильм и пластинка скоро «расходятся». Чтобы устанить этот недостаток, надо было записывать звук на фильм вместе с изображением, но производить на фильме механическую звукозапись не удавалось. Был найден способ изменять интенсивность луча света звуковыми колебаниями. Такой луч света, промодулированный звуковыми колебаниями, прочерчивал сбоку на киноленте звуковую дорожку (см. правую часть рис. 123). В соответствии со звуковыми колебаниями изменялась прозрачность звуковой дорожки. При воспроизведении луч света через звуковую дорожку падал на фотоэлемент, превращавший колебания света в электрические колебания. Эти колебания в нужной степени усиливались и подводились к громкоговорителям, размещенным около экрана.

Так кино обрело звук, и через короткое время выпуск немых фильмов был прекращен. Благодаря радиоэлектронике кино перешло на значительно более высокую качественную ступень.

Но ни механический, ни оптический способы звукозаписи не были вполне удовлетворительными. Их крупным недостатком является невозможность немедленного воспроизведения после записи. Пластинки записывались на восковые диски. С них надо было делать матрицы, после чего печатать пластинки. Это процесс длительный. Проиграть непосредственно записанный восковой диск можно, но он будет испорчен. Фильм с оптической записью нуждается в проявлении, закреплении, сушке и печатании позитива, который снова надо проявлять и т. д. Пройдет много времени, пока выяснится, что запись по-

лучилась плохо и ее надо повторять. Использованная лента не годится для повторного использования. Аппаратура записи и печати и в механическом и в оптическом способах звукозаписи сложна и громоздка.

Развитие техники привело к появлению нового способа звукозаписи — магнитного. Как показывает само название, запечатление звука в этом способе производится путем изменения степени намагничивания магнитного материала. Таким материалом в большинстве случаев бывает лента из тонкой — около 50 *мк* и тоньше — пластмассы, с одной стороны покрытой ферромагнитным слоем. Ширина наиболее распространенной ленты — 6,5 *мм*.



Известный всем магнитофон

Рис. 124.

Такая лента движется перед зазором (рис. 124) записывающей магнитной головки. Через катушку этой головки пропускаются подлежащие записи электрические колебания, вследствие чего в зазоре головки возникает переменное магнитное поле, изменяющееся в соответствии с электрическими колебаниями. Магнитное поле пронизывает ленту и намагничивает ее. Интенсивность намагничивания по длине ленты определяется звуковыми колебаниями.

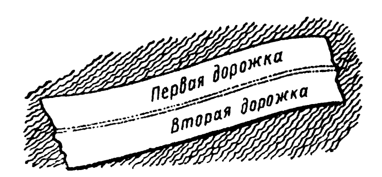
Если теперь ленту с записью пропустить с такой же скоростью мимо зазора воспроизводящей головки, то магнитное поле ленты будет наводить в катушке головки принципиально такие же электрические колебания, какие были в катушке записывающей головки. Эти колебания усиливаются и подводятся к громкоговорителю.

У магнитного способа звукозаписи много преимуществ по сравнению с механическим и оптическим. Крупнейшим из них является то, что воспроизведение записанного возможно немедленно после записи и даже одновременно с записью (контроль можно вести во время записи). Поэтому, если у записи есть дефекты, ее можно сразу же повторить. Магнитная лента от записи не приходит в негодность и может быть повторно использована для записи практически неограниченное число раз. Для этого прежняя запись с нее стирается. В магнитофонах (аппаратах

для магнитной записи) стирание перед записью производится автоматически.

Очень важным преимуществом магнитной записи служит то, что воспроизведение не ухудшает записи, поэтому воспроизведение возможно многие тысячи раз без ухудшения записи, — по существу, до тех пор, пока не наступит механический износ ленты.

У магнитной записи есть ряд и других преимуществ. Этим способом могут быть записаны колебания очень ши-



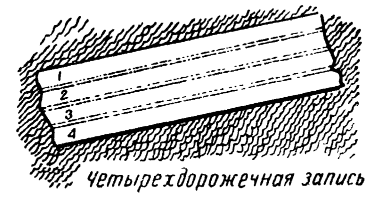


Рис. 125.

рокой полосы частот, поэтому воспроизведение получается очень естественным. Магнитофоны могут быть сделаны очень портативными, даже карманной величины, с питанием от батарей, поэтому запись можно производить где угодно, в том числе и на ходу. Запись на магнитной ленте можно как угодно монтировать, склеивая ее куски, можно часть записи стирать и вставлять на ее место новую и пр. На магнитофонной ленте обычно записываются две «дорожки» (можно даже четыре дорожки). Это дает возможность записать на одну и ту же ленту две программы или даже четыре программы и воспроизводить по желанию любую из них. Стандартные скорости движения ленты в обычных магнитофонах установлены в 19 *см/сек* и 9,5 *см/сек*. В кассету (рис. 125) укладывается обычно от 100 до 500 *м* ленты. Время проигрывания записи на одной кассете составляет от получаса до нескольких часов в зависимости от диаметра кассеты, скорости записи и числа дорожек.

Возможность записи на одной ленте двух или четырех дорожек дала возможность осуществить стереофоническую запись, т. е. запись, дающую представление о размещении в пространстве звучащих объектов. Стереофоническое воспроизведение в наибольшей степени приближается к естественному.

Магнитный способ записи получил чрезвычайно широкое распространение. Большинство радиовещательных передач (как репортерских, так и музыкальных) ведется с магнитной ленты. Записи заготавливаются своевременно и воспроизводятся в нужное время. Это страхует от таких случайностей, как болезнь исполнителя, его опоздание, непредусмотренное затягивание передачи, кашель и пр. Если случится необходимость, то передачу всегда можно повторить.

В производстве грампластинок отпал первый этап — запись на воск, которую нельзя исправить. Запись делается на магнитную ленту, если нужно, повторяется, монтируется и т. п. и переписывается на пластинку уже в совершенно готовом виде.

В широкоэкранном и широкоформатном кино звуковое сопровождение стереофоническое. Для его осуществления нужны по крайней мере две параллельные записи звука. Но записать на киноленте оптическим способом две дорожки нельзя, для этого пришлось бы урезать изображение. Поэтому запись делается на магнитные дорожки, нанесенные на киноленту. Так же осуществляется звукозапись в панорамном и циркорамном кино.

Не так давно удалось сконструировать аппаратуру для записи магнитным способом телевизионных изображений, т. е. для записи телевизионных сигналов. Теперь телевизионные передачи записываются на магнитную ленту и могут быть воспроизведены, когда это потребуется. Это произошло лет 10 тому назад, когда техника позволила осуществить магнитную запись частот до 6 *Мгц* при скорости движения ленты 38,5 *см/сек* (при строчной записи).

Магнитная запись широко используется в электронных счетно-решающих устройствах в качестве «памяти». Магнитная запись очень удобна для этой цели, потому что запись может храниться неограниченно долго, но по миновании надобности может быть очень просто стерта и на ее место можно производить новую запись, причем в повторении таких циклов нет никаких ограничений.

Магнитофоны в настоящее время широко используются репортерами радио (записываются интервью на дому или в учреждении), записываются выступления вместо их стенографирования. Ясно, что стенограмма по

своей документальности не может идти ни в какое сравнение с магнитной фонограммой.

После того как звукозапись была преобразована при помощи радиоэлектроники, ее значение и роль чрезвычайно возросли. Теперь трудно, а пожалуй и совсем невозможно, найти такую область науки, техники, народного хозяйства, которая совсем не пользовалась бы услугами звукозаписи. Врач записывает звуки биения сердца больного для того, чтобы сравнить их с тем, что будет через несколько дней. Изучающий иностранный язык тренирует с помощью звукозаписи свое произношение. Мать вместе с любительским кинофильмом может хранить и ленту с записью первого лепета ее ребенка. Звукозапись дает нам по телефону справки о времени. Микрофоны звукозаписывающих аппаратов можно встретить и в воздухе, и под водой, и под землей и даже в космосе.

Служба погоды

В одном из тихих московских переулков на Красной Пресне есть здание, на вывеске которого написано «Мировой метеорологический центр». Таких учреждений на земле всего два: один в Москве и второй в Вашингтоне (США). Они созданы с одобрения ООН по договоренности между СССР и США.

Для нас эти мировые центры — хозяева погоды на всем земном шаре — представляют интерес в силу того, что они могли организоваться и приобрести то значение, которое они имеют, благодаря в первую очередь широкой сети радиосвязи и электроники. Об этом весьма красноречиво говорят названия тех двух советских центров, которые были объединены для создания указанного мирового центра — Главный радиометеорологический центр и Метеорологический вычислительный центр. Основой этого второго центра является электронная счетно-решающая машина, специально приспособленная для метеорологических вычислений.

Радиотехника обеспечила метеорологии удобную, гибкую и надежную связь. Метеорология работать без связи не может. Ее оценка погоды и ее прогнозы почти целиком зависят от того, насколько обширны территории, охваченные метеорологическими наблюдениями. Чем больше пунктов на земном шаре, от которых поступают

метеорологические данные, тем более точны могут быть прогнозы погоды, т. е. то, что представляет собой «продукцию» метеорологии.

Осуществить это не так легко. Больше 70% поверхности земного шара покрыто водой, порядочная часть этих 70% закрыта вечными льдами. Связь с кораблями, многие из которых ведут метеонаблюдения, возможна только по радио, связь с полярными станциями производится тоже исключительно по радио. По радио поступают сводки от многочисленных автоматических станций, установленных в труднодоступных местах, от аэрозондов и от искусственных спутников. Если бы когда-нибудь вдруг прекратилась радиосвязь, то метеорологическая служба перестала бы работать, она лишилась бы поступления «сырья».

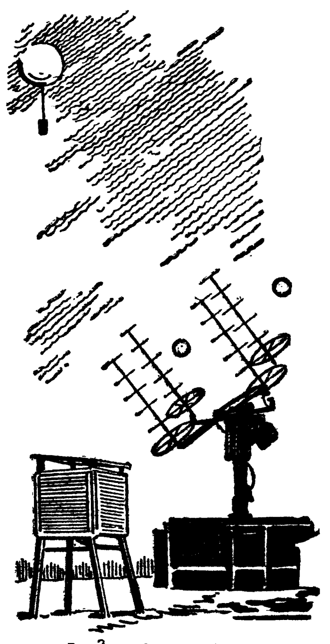

Радиолокатор следит за зондом

Рис. 126.

Для метеорологов чрезвычайно важно знать, что делается в атмосфере: каковы температура и влажность воздуха, на какой высоте и в какую сторону дуют ветры и пр. Эта информация поступает от радиозондов — небольших воздушных шаров с метеоприборами и автоматически действующей радиостанцией, которые в большом количестве запускаются ежедневно многими метеопунктами. Шар поднимается в воздух и передает по радио сводки показаний имеющейся на нем аппаратуры. Следит за зондом (рис. 126) радиолокационная станция, которая определяет высоту, скорость и направление его полета на протяжении сотен километров, что дает сведения о направлении и скорости ветра на данной высоте.

Чтобы яснее представить себе объем информации, используемой для прогнозов погоды, укажем, что только в

СССР работает около 4 000 наблюдательных станций и около 7 000 постов. За сутки наблюдения на этих станциях осуществляются многократно. Так, например, около 3 000 станций ведут наблюдения 8 раз в сутки; результаты их наблюдений передаются в виде закодированных телеграмм, причем телеграмма за один срок наблюдения состоит из 7—9 групп по 5 цифр в каждой группе. Общее количество телеграмм, поступающих в прогностические органы, по СССР составляет около 15 млн. в год; в Москву ежесуточно приходит около 30 тыс. телеграмм, остальные проходят через 34 районных центра метеорологической службы, где комплектуются районные сводки наблюдений. Запоздавшая метеотелеграмма теряет почти всю свою ценность.

Обработка всех этих данных в значительной степени автоматизирована даже при ручной обработке, но в последние годы все большая нагрузка передается электронно-вычислительным машинам.

В последние годы метеорологи получили новый источник информации — метеорологические спутники Земли. Они увеличивают перечень сведений, получаемых метеорологами, от них поступают данные о солнечной радиации различных участков земной поверхности, фотоданные о состоянии снежных и ледяных массивов, о грозовых явлениях. Все такие сведения, в том числе и фотоснимки распределения облаков над земной поверхностью, автоматически передаются спутникам по радио.

Чем богаче информации, тем точнее могут быть составленные на ее основе прогнозы погоды, но вместе с увеличением объема информации возрастают и трудности ее обработки. Количество информации начинает превышать тот предел, который человеческие силы позволяют «переварить». Даже большие коллективы опытных работников не справляются с этим. Составляемые ими достаточно точные прогнозы бывают готовы уже после того, как минуют те дни, на которые они составлены. На помощь при решении многочисленных уравнений со многими часто меняющимися коэффициентами пришла электронно-вычислительная машина, которой это вполне по плечу.

Электронная счетно-решающая машина «впитывает» в себя все неимоверно большое количество сведений, получаемых метеорологическим центром, и перерабаты-

вает его со сказочной быстротой, выдавая прогнозы совершенно своевременно. Эти сроки будут еще укорочены. Машина «не понимает» сведения, поступающие в метеорологический центр, в том виде, в каком они получаются с телетайпа. Их надо переводить на язык машины, и это делают люди, причем делают это с присущей им, с точки зрения электронной техники, медлительностью. Все эти «вводные процедуры» будут усовершенствованы, сведения начнут поступать прямо в машину, что приведет к большой экономии времени.

Дает ли это результаты? Да, дает! Думается, что 1964 год ознаменовался для метеорологов тем, что они смогли, наконец, смело называть свою профессию, не рискуя встретить улыбки и услышать дружеские насмешки, облеченные в ту или иную форму. Гораздо точнее стали прогнозы.

Мировой метеорологический центр не только получает отовсюду информацию. Он и рассылает ее в обобщенном виде и в виде метеокарт и прогнозов. Тут снова выступает на сцену радиоэлектроника. Карты и весь материал метеоцентр будет посылать по фототелеграфу. Таким образом, на местах будут получать карты в готовом виде.

Много разных услуг оказывает радиоэлектроника метеорологии. Мы не ставили задачу дать их полный перечень. И из того, что уже рассказано, ясно, какие преобразования внесла радиоэлектроника в метеорологию.

Этот метеораздел хочется закончить упоминанием о последней новинке нашей техники. Вы знаете, что такое «Бета-1»? Вероятно, нет. А это очень интересная вещь!

Даже из того немногого, о чем рассказано в этом разделе, ясно значение автоматических метеорологических станций. Чтобы создавать правильные прогнозы погоды, надо иметь сводки метеонаблюдений из возможно большего числа пунктов. Но нельзя повсюду разместить обслуживаемые станции — это связано с огромными трудностями, поэтому приходится дополнительно устанавливать автоматические. На этих станциях показания метеоприборов преобразуются в электрические сигналы, соответствующим образом закодированные, и поступают на автоматически же срабатывающий радиопередатчик, работа которого запрограммирована. В определенное время он передает сводку на «большую землю».

Но и радиопередатчик, и все другие электрические устройства метеостанции — включающие автоматы, преобразователи, кодирующие устройства и пр. — надо питать электрическим током. А где его взять? Можно оснастить станцию аккумуляторами. Но ведь их надо заряжать или заменять. О замене обычно речи быть не может — такие станции устанавливаются в труднодоступных местах: в пустынях, в тундре, в Арктике. Для заряд-

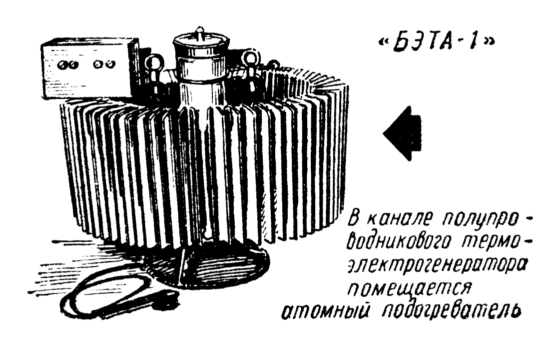


Рис. 127.

ки можно применить ветряной двигатель с электрогенератором. Так чаще всего и делали. Станция питается от аккумуляторов, а аккумуляторы подзаряжаются ветряком.

Однако такая станция целиком зависит от ветра и от исправности ветряка и всего аккумуляторного хозяйства, а и ветряки, и все это «хозяйство» не так-то надежны... В общем, нужно что-то более надежное.

И вот нашими учеными и инженерами создана «Бета-1» — атомно-термоэлектрогенераторное устройство питания (рис. 127). Начальным источником энергии в нем является радиоактивный материал церий-144. При радиоактивном распаде этого материала происходит энергичное излучение электронов, которое сильно нагревает металлическую ампулу, в которой заключен церий. Ампула в свою очередь нагревает полупроводниковый термоэлектрогенератор, который и вырабатывает электрический ток.

Установка в среднем выделяет мощность 5 *вт*, но она имеет накопляющее аккумуляторное устройство, позво-

ляющее периодически работать мощностью до 200 *вт*; в эти рабочие периоды могут работать различные электрические автоматы и основной радиопередатчик автоматической метеорологической станции.

Такой генератор работает непрерывно, в нем нет движущихся деталей, подверженных порче. Срок его службы довольно велик (период полураспада церия-144 равен 284 дням).

В подобной метеорологической станции больше радиоэлектронной аппаратуры, чем собственно метеорологической. Ведь только начальным звеном цепочки каждого метеоизмерения служит метеоприбор — допустим, барометр. Далее следует длинная цепь радиоэлектронных приборов: считывающее устройство, кодирующее устройство, передатчик со своими автоматами, питающее устройство, радиоприемник где-то в приемном центре, далее, в конце концов, московский объединяющий центр, снова кодирующее устройство, электронная счетно-решающая машина, которая суммирует все данные всех метеостанций и на основе этого строит прогноз.

Кино

Кино уже упоминалось в предыдущих разделах. Радиоэлектроника озвучила кино, дала ему голос и этим чрезвычайно увеличила его эмоциональное воздействие на зрителей, повысила его значимость как средства культурного воспитания самых широких масс, самого доступного из всех видов искусства.

Озвучивание коснулось не только фильмов нашего производства. Техника звукозаписи, оперирующая электронными средствами, дала возможность дублирования на русский язык и языки других народностей, населяющих СССР, иностранных фильмов. Благодаря этому стал возможен полноценный обмен фильмами с другими странами и ознакомление с их искусством.

Последние достижения кинотехники, выразившиеся в переходе на широкий формат изображений, не могли бы быть реализованы без участия радиоэлектроники. Переход на широкий формат сопровождается одновременным применением многоканального озвучивания, необходимого для реализации эффекта стереофонического звучания. До восьми каналов записывается теперь при озвучивании

панорамных фильмов. Зато у зрителя получается полное круговое пространственное слуховое восприятие. Он слышит, например, шум самолета сзади, потом над собой и потом в стороне экрана, после чего самолет действительно появляется на экране. Все это в высшей степени способствует созданию того «эффекта присутствия», за который так ценится этот вид кино.

Телевизионная техника вначале пользовалась помощью кино. Но теперь она сама начинает все активнее помогать кино. Опыт показал, что телевизионная переда-



Рис. 128.

ющая трубка чувствительнее кинопленки. Телевизионная камера может работать при таком освещении, которого для съемочной кинокамеры недостаточно, а организовать искусственную подсветку можно далеко не во всех случаях, в особенности при внестудийных съемках. В таких случаях оказывается выгоднее снимать телевизионной камерой, а пересъемку на кинофильм делать с экрана высококачественного телевизора-монитора.

Не так давно в этом отношении выявлена еще одна возможность. Найден способ записи телевизионных сигналов на магнитную ленту. Это открывает возможность производить пересъемку на киноленту не синхронно с работой передающей телевизионной камеры, а в удобное время. Такой вид съемок уже применяется, изучается и совершенствуется.

У такого способа много преимуществ. Например, на магнитную ленту могут быть с одинаковым успехом записаны как черно-белые, так и цветные изображения, лента при неудачной записи может быть использована

повторно, воспроизведение возможно немедленно, после записи, поэтому в случае необходимости запись может быть тут же повторена. А при съемке киноспособом необходимость пересъемки может быть выявлена лишь через несколько дней, нужных на обработку ленты. Израсходованная кинолента уже не годится для повторного использования.

Автоматика

Автомат — по гречески «самодвижущийся» — приспособление, выполняющее то или иное движение или работу при помощи внутреннего механизма без вмешательства человека во время работы. Автоматизация — трудовое поведение, при котором действия, ставшие привычными, выполняются без сознательного их регулирования. При несложных работах это дает большую экономию энергии. Организм животного и человека обладает свойством автоматизма, благодаря которому отдельные процессы протекают без участия воли и сознания. Мы ходим, пишем, читаем, совершая привычные движения, выработанные путем долгих упражнений, и тем самым экономя много времени и энергии.

В быту, на заводе мы непрерывно сталкиваемся с автоматическими процессами, введенными человеком при их развитии. Орудия труда часто превращаются в частичные или полные автоматы. Практически мы сейчас живем среди разных кнопок и ручек, которые мы только нажимаем, а остальное доделывают за нас автоматические механизмы. Мы хлопаем самозакрывающейся дверью, заводим часы раз в сутки, посматривая на циферблат по мере необходимости, звоним по телефону, набирая только требуемые цифры на диске, нажимаем тормозную педаль автомобиля, кнопку механического или электрического звонка, получаем чек от кассового аппарата в магазине, заводим пружину будильника или механического патефона, забывая, что механизм, вращающий пластинку, имеет еще дополнительный автомат — центробежный регулятор скорости вращения пластинки, в котором при излишнем повышении скорости вращения расходятся грузики регулятора и, прижимаясь к диску, тормозят движение автоматически до нормальной скорости. Простая мышеловка тоже представляет типичный авто-

мат; такой же автомат — капкан — устанавливался в лесу охотником за много лет до появления электричества и учебников по теоретической механике и автоматике.

С каждым годом автоматика усложняется. Мы уже привыкли опускать монеты в автомат для получения стакана газированной воды, включать выключатели электрических приборов, открывать кран водопровода, не задумываясь, что вода течет по трубам под действием целого ряда сложных автоматов в системе городского водопровода.

В настоящее время в газетах часто встречаются слова: автоматика, телеавтоматика, кибернетика. Но в эти названия заложен уже иной смысл. Речь идет уже не о какой-то отдельной кнопке, пускающей в ход самоходный станок-автомат с электрическим приводом.

Для современного развития автоматизации характерны резкие расширения ее границ и качественный скачок, связанный с переходом от автоматизации отдельных станков, машин и агрегатов к комплексной автоматизации и телемеханизации. Системы автоматического управления охватывают группы различных, но взаимосвязанных станков, машин, агрегатов, участвующих в едином производственном процессе. Это — автоматические поточные линии, цехи, заводы и предприятия — автоматы, промыслы, системы транспорта и т. п., в которых автоматизируются и основные и вспомогательные процессы. Дальнейшим этапом является развитие комплексной автоматизации и телемеханизации, где объединяют группы заводов, предприятий, объектов транспорта. В этом случае возникает необходимость в решении более сложных логических, математических и других задач, связанных с оптимизацией производственных процессов, и устранении различных неувязок и помех. Кроме того, в связи с увеличением расстояний между отдельными управляемыми объектами, часто разбросанными по значительной территории, возникают проблемы автоматической передачи на расстояние результатов телеизмерения, телесигнализации, телеуправления и телерегулирования. На предварительных этапах телеавтоматизации требовался дежурный персонал, диспетчеры, связанные телефонной связью и системами телесигнализации. Диспетчер решает текущие задачи и может контролировать и управлять данными объектами с помощью технических

средств телемеханики (уже не механических, а электрических или радиосредств).

На очереди переход к телеавтоматическим системам с частичной или полной заменой диспетчера и дежурного персонала автоматическими устройствами и электронно-вычислительными машинами. В этой системе меняется и база автоматики. Вместо недостаточно надежных механических устройств, электрических контактов, узлов с электронными радиолампами появляются более надежные бесконтактные, полупроводниковые, магнитные и другие элементы телемеханики и кибернетических устройств. Примерами осуществленных устройств могут быть и завод без рабочих, работа гидроэлектростанций, запуск ракеты и дальнейшее управление и наблюдение за ней, регулирование Единой энергетической системой СССР и даже соседних социалистических стран, позволяющее автоматически регулировать выработку электроэнергии и быструю переброску миллионов киловатт электроэнергии в нужные районы.

Бионика

В разных местах книги описывались или упоминались многочисленные датчики — элементы или приборы, превращающие действие различных физических факторов в электрические сигналы. Тут фотоэлементы — приборы для восприятия света, микрофоны — для восприятия звука, термисторы — для восприятия тепла, пьезоэлементы — для восприятия давления, вибрации и т. д. Само собой напрашивается сравнение: а ведь многие эти датчики, в сущности, выполняют функции наших органов чувств. Наши глаза улавливают световые колебания, уши — звуковые, кожа чувствительна к теплу, она же может обнаружить давление, вибрацию.

Есть аналогии и более сложного характера. Приспособительные реакции живого организма, достигшие в течение длительного периода эволюции высокого совершенства, напоминают работу различных кибернетических устройств, изготовленных за последние десятилетия. Биологические системы управления и кибернетические устройства выполняющие сходные функции. Целью тех и других систем является правильное реагирование на воздействие различных факторов, приспособление к изме-

няющимся условиям окружающей обстановки (в кибернетике этому соответствуют «думающие» или «самообучающиеся» электронно-вычислительные машины, разрабатываемые в последние годы).

Сразу же встает вопрос: кто кого обогнал? Техника ли оставила далеко позади наши органы чувств, или же техника в данном случае пасует перед искусством природы? Можно выяснить, какие биологические системы могут быть продублированы техническими средствами, чья работа лучше и экономичнее.



Глаз ощущает воздействие десятка фотонов

Рис. 129.

Как, вероятно, знает большинство читателей, сопоставления показали, что технике в данной области нечем похвалиться. Природа в течение многих миллионов лет, пользуясь методом естественного отбора, создала замечательные устройства, отличающиеся крайней чувствительностью, малыми размерами, небольшим весом и исключительно малым потреблением энергии. Помимо того, некоторые функции органов чувств живых существ, такие, например, как обоняние, метод ориентации птиц при дальних перелетах и др., вообще пока не удалось продублировать приборами.

Действительно, взять хотя бы человеческий глаз. Он при своих размерах обладает способностью самофокусироваться на различные расстояния, он автоматически диафрагмируется, т. е. изменяет размеры зрачка, приспосабливаясь к степени освещенности. Его чувствительность после некоторого времени пребывания в темноте особенно обостряется. Находясь в таком состоянии, глаз уже реагирует на попадание всего десятка и даже меньше фотонов (рис. 129). Вместе с тем глаз хорошо работает при полном солнечном освещении. Разрешающая способность глаза порядка $^1/_2$ угловой минуты. На небольшой площади сетчатой оболочки глаза находятся несколько миллионов светочувствительных окончаний зрительного нерва, причем особенно густо расположены они в центральной части сетчатой оболочки, на которую мы и проектируем изображение, когда рассматриваем что-нибудь. На такой площади, какой представляется для нас экран в кинотеатре, мы способны различить около

3 млн. точек, а в киноизображении их в 3 раза меньше, т. е. 1 млн. В телевизионных изображениях воспроизводимых элементов еще меньше — что-нибудь около 400 тыс.

Мы смотрим двумя глазами, изображения обоих глаз совмещаются, но не бывает так, чтобы на светочувствительные окончания нерва одного глаза попадали все те же самые точки воспринимаемого изображения, что и у второго глаза. Второй глаз дополнит какое-то количество новых точек к изображению воспринятому другим глазом. Кроме того, благодаря тому, что наши глаза разнесены на расстояние порядка 6—8 *см*, мы получаем объемное изображение, что вместе с мышечным усилием, нужным для сведе́ния оптических осей глаз на объекте, позволяет нашему мозгу оценивать расстояния и различать, какие предметы находятся ближе и какие дальше.

Помимо того, мы получаем цветное изображение, прекрасно различая огромную гамму цветов и их оттенков. Чудесными красками сверкает для нас поэтому окружающий нас мир.

Человеческий глаз различает много градаций освещенности (больше ста). В кино воспроизводится около 30 градаций, а в телевидении — только около восьми.

У наших глаз есть и еще интересные особенности — например, по краям охватываемого нашими глазами пространства мы не получаем особо четкого изображения, но зато сразу замечаем любое движение. Это наш сторож, который для некоторых живых существ имеет очень большое значение. Сказанного достаточно для того, чтобы стало ясно, что техника пока не может создать какое-либо устройство, приближающееся по своим показателям к этим органам. По идее ближе всего подходит к глазу цветная телевизионная установка, но ее четкость, чувствительность и все другие показатели, относящиеся к качеству изображения, намного хуже, зато показатели по объему, весу потребляемой энергии и пр. несравнимо выше, т. е. тоже хуже. Наш глаз вместе со зрительным нервом и ведающей зрением частью мозга даже и сравнивать нельзя с телевизионной установкой, для которой нужно большое помещение, которая весит десятки или сотни килограммов и потребляет многие киловатты электроэнергии. Кроме того, для телевизионной установки нужно много запасных ламп и деталей, нужен обслужива-

ющий персонал. И, несмотря на все это, на экранах телевизоров нет-нет да и появится знакомая надпись: «Приносим извинения за перерыв по техническим причинам». А работяга-глаз много десятков лет, а иногда и больше сотни лет трудится без запасных частей, без персонала и без аварий и служит нам верой и правдой.

Достойно всяческого удивления искусство природы, создавшей путем естественного отбора такой замечательный по всем показателям орган.

Можно добавить, что глаза некоторых живых существ имеют некоторые качества, превосходящие человеческий глаз. Например, у некоторых птиц разрешающая способность глаза выше, чем у человеческого; панорамные глаза мухи дают почти круговой обзор; глаз таракана, улавливающий направленное инфракрасное излучение, мог бы быть вставлен (в будущем, конечно) в систему самоориентации искусственного спутника Земли.

Не нужно думать, что глаз выбран нами потому, что этот пример наиболее яркий и поражающий. Это совсем не так. Гораздо более поразительна, например, наша память. Ячейки памяти нашего мозга хранят огромное количество сведений. Мозг содержит приблизительно 15 миллиардов нервных клеток (нейронов); теперь выясняется, что в каждой из них есть по меньшей мере миллионы элементов памяти. Объем же всего мозга вместе с его многочисленными центрами, не имеющими отношения к памяти, всего в среднем 1 450 *см*³, а потребляемая им энергия исчисляется немногими ваттами.

В электронных счетно-решающих машинах тоже есть ячейки памяти. Подсчитано, что если построить по наиболее экономному типу искусственную память всего с полутора миллиардами ячеек, то такое устройство займет целый небоскреб и будет потреблять миллион киловатт электроэнергии.

Мы брали такие органы человека, которым техника, базирующаяся на всем ее современном могуществе, может противопоставить хотя бы какие-нибудь устройства. Но ведь есть и такие, где техника вообще бессильна. Взять к примеру обоняние. Техника до сих пор вообще не создала устройства, которое выполняло бы функции обоняния. А оно было бы очень не бесполезно. Человек не может похвастаться особенно острым обонянием (хотя к

некоторым запахам человек очень чувствителен. Он, например, обнаруживает, если в кубометре воздуха имеются десятки молекул тринитробутилтолуола). Все знают, насколько изощренным органом чувств является обоняние у собаки и у многих зверей, рыб, бабочек и т. д. (рис. 130). Очень развита у них также и память на запахи. Эта способность есть и у человека, но в меньшей степени. Но все же сотни и тысячи характерных запахов мы помним всю жизнь. Органы обоняния меньше и проще органов зре-



Рис. 130.

ния. Если бы техника могла дать такое же портативное и такое же чувствительное устройство, то оно нашло бы массу применений.

У живых существ много таких способностей, которым техника или ничего не может противопоставить, или же противопоставляет громоздкие, тяжелые, неэкономичные и малочувствительные установки. Звуколокаторы летучей мыши, дельфина и многих других живых существ гораздо эффективнее наших радиолокационных станций. Чувство направления у птиц, насекомых, рыб и пр. очень точно, и созданные человеком навигационные устройства ни в весе, ни в экономичности, ни в каком-либо другом отношении не могут сравниваться с органами живых существ.

Способности и возможности живых существ крайне разнообразны. Некоторые из них чувствуют радиоактивное излучение, например, улитки, крысы; другие чувствительны к магнитным полям — например, известные виды муравьев, рыбка нильский длиннорыл; третьи имеют простую и прекрасно работающую «следящую систему»,

например подсолнечник, который все время следит за солнцем, повертывая к нему свое соцветие, и т. д. Очень многие животные и птицы обладают способностью задолго предугадывать землетрясение. В некоторых случаях зафиксировано беспокойство, проявленное животными задолго до землетрясения. Установлено, что многие звери, птицы, змеи и др. покидали район землетрясения за несколько дней до его начала. Некоторые рыбки в аквариуме обнаруживают сильное беспокойство часов за 12 до наступления шторма в море. Разгадка «механизма» этих предчувствий была бы весьма ценной.

Трезвое сопоставление возможностей техники и возможностей живых существ показало, что природа опередила технику. У нее надо учиться, а для этого надо тщательно изучать «устройство» живых существ, чтобы заимствовать все, что окажется возможным. Это должны делать инженеры совместно с биологами. Новая отрасль науки, созданная для этого, и получила название бионики. Параллельно изучается работа электронной машины и мозга. Сравниваются различные датчики сигналов, биологические приспособления отдельных организмов. Такие сравнения становятся целесообразными именно в настоящее время, когда радиоэлектронная промышленность переходит на микроминиатюризацию, на микромодульную технологию, если не приближающуюся, то во всяком случае идущую в направлении сближения с приспособлениями живых организмов в смысле увеличения количества работающих элементов в данном объеме. Имеются уже удачные подражания: например, изучение поверхности кожи дельфина, отличающегося большой скоростью подводного плавания, позволило изменить отделку поверхности подводной лодки и добиться этим повышения ее подводной скорости при той же мощности двигателя. Кибернетическое изучение высшей нервной деятельности по-новому поставило вопросы обеспечения надежности работы машин. Как известно, одно из важнейших условий надежности мозга — это не только высокая стойкость его элементов, но и их избыточность, параллельное функционирование многих элементов при выполнении одной и той же задачи. Этот принцип уже переносится в конструкции некоторых электронных машин.

Проводная связь

Очень многие разделы науки и техники получили от радиоэлектроники серьезную помощь, которая в значительной степени способствовала их прогрессу, снабжая их для этого своими средствами и идеями.

К этой группе можно отнести проводную связь. Проводной телеграф и проводной телефон с каждым годом заимствуют все больше и больше элементов радиоэлектроники. Прежде всего это коснулось дальности связи. Вследствие большого затухания в линиях дальняя связь, в особенности телефонная, при помощи специфически проводной аппаратуры не получалась. Осуществить дальнюю связь по проводам удалось только после того, как были применены усилители с электронными лампами, т. е. радиоэлектронная аппаратура. Такие усилители устанавливаются на линиях на некотором расстоянии друг от друга, что дает возможность поддерживать достаточно большой уровень сигнала.

Вторым большим затруднением, с которым столкнулась проводная связь в процессе своего развития, была необходимость большого количества проводов. Линии связи по справедливости называют нервной системой страны. Объем связи между городами и вообще населенными пунктами непрерывно и очень быстро возрастает. Между тем для каждой телефонной или телеграфной связи нужна пара проводов. В крайнем случае по трем проводам могут быть переданы две телефонные или телеграфные связи. Это значит, что для удовлетворения потребности в связи между городами должны быть протянуты многие сотни, а то и тысячи проводов, что явно невозможно.

Эта проблема была решена с помощью радиоэлектроники. Между городами стали прокладывать так называемые высокочастотные кабели, которые могут пропустить широкую полосу частот — до 150 000 *гц*. По линии передаются высокочастотные колебания, охватывающие большой диапазон частот, а этот диапазон делится, например, на три канала или поддиапазона по 5 000 *гц*, которые модулируются звуковой частотой. Если аппаратура трехканальная, то по каждому каналу могут быть пропущены один телефонный разговор (3 400 *гц*) или 18 телеграфных передач (60 *гц*). Есть аппаратура с боль-

шим числом каналов, например с 12 каналами и больше. Специальные коаксиальные междугородные кабели пропускают еще более широкую полосу частот — до 4 *Мгц*. По нему путем применения соответствующей аппаратуры могут быть переданы сотни телефонных разговоров и очень много телеграфных передач. По такому кабелю можно передать телевизионную программу, радиовещательные программы и пр.

Еще больше каналов предоставляют радиорелейные линии, обладающие огромной «емкостью». Одна радиорелейная линия заменяет несколько тысяч пар проводов.

Фототелеграф, который организованно относится к проводной связи (полоса около 6 000 *гц*), представляет собой чисто радиоэлектронное устройство. Кстати сказать, между Москвой и Ленинградом, вероятно, скоро будет действовать цветной фототелеграф.

Телефонные станции тоже постепенно будут переходить на электронику. Существующие станции с электроконтактными искателями недостаточно надежны. Уже разработаны электронные АТС (автоматические телефонные станции) и полупроводниковые АТС. При достаточном распространении междугородных высокочастотных коаксиальных кабелей и радиорелейных линий телефонные системы городов можно будет объединить, и каждый абонент со своего телефона сможет сам звонить абонентам других городов без посредства междугородной станции.

Медицина

Совсем другая область — медицина. Пожалуй, можно отметить, что медицина оказалась несколько консервативнее многих других отраслей науки и техники и с некоторым запозданием начала прибегать к помощи радиоэлектроники. С довольно давних пор медицина пользуется лишь одним радиоэлектронным аппаратом — рентгеновским, и, вероятно, нет нужды рассказывать, насколько он полезен и сколько человеческих жизней было спасено, сколько страданий устранено или облегчено в результате его использования.

Но некоторое время назад, можно сказать, лед тронулся и выгода использования достижений и возможно-

стей радиоэлектроники была понята медициной. Все шире получает распространение различная медицинская радиоэлектронная аппаратура. Повсюду применяется, например, электрокардиограф — прибор для исследования деятельности сердца. Все чаще можно встретить в лечебных учреждениях генераторы очень коротких волн для облучения. Как мы уже отмечали, ведутся опыты даже по применению электронных счетно-решающих машин для диагностики заболеваний. Разработаны и начинают применяться полупроводниковые термометры, которые ценны тем, что показывают температуру моментально и дают возможность измерять температуру не вообще всего тела больного, но и делать локальные точечные замеры в нужных местах. Большую помощь оказывает медикам электронный микроскоп.

Подобных примеров можно привести уже довольно много. Но нет сомнения, что главная работа по использованию радиоэлектроники в медицине еще впереди и что радиоэлектроника открывает в этом отношении весьма радужные перспективы. Основной упор должен быть сделан на раннюю диагностику — на обнаруживание заболеваний в самом начале, когда существующие методы обнаружения бессильны. К сожалению, слишком часто бывает, что заболевание удается обнаружить лишь тогда, когда оно уже чувствуется больным и распространенные методы дают возможность распознать лишь его характер. И бывает, что к этому времени болезнь достигла такой стадии развития, что излечению уже не поддается. Нечего говорить о том, что такое положение недопустимо, и можно ожидать, что радиоэлектроника окажет в этом отношении существенную помощь. Для этого нужен союз врачей и инженеров, и такие объединяющие их научно-исследовательские институты уже созданы. Методами радиоэлектроники удалось определить характер поверхности Луны, расположение атомов в кристаллах и электронов в атомных оболочках. Способами радиоэлектроники находят один приблудный атом среди миллиарда других атомов, обнаруживают маленькую раковину внутри стальной отливки и ощупывают океанское дно на глубине десятка километров. Так неужели задача определения начала ненормального роста клеток или другого отклонения от нормы окажется для радиоэлектроники неразрешимой? Конечно, нет! Конечно, она справится с

такой задачей, как справилась с миллионами других. Но для этого надо работать. И чем скорее, чем в больших масштабах, тем лучше.

Измерительная техника и контрольные приборы

Измерения являются основой развития любой науки и всякой отрасли техники. Подлинная наука и подлинная техника начинаются только тогда, когда вместо оценок «на глазок» применяются точные измерения.

«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры» (Д. И. Менделеев, Сочинения, 1946, том. 7, стр. 210). Правда, то же говорилось неоднократно и о математике — например, «Во всякой науке о природе имеется лишь столько от настоящей науки, сколько в ней имеется математики» (Кант), или, как свидетельствует Лафарг (Воспоминания о Марксе, 1959, стр. 6), «Карл Маркс считал, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой». Последняя цитата взята из книги «Применение математики и электронной техники в планировании» (Экономиздат, Москва, 1961). Как видим, союз экономики, математики и радиоэлектроники становится серьезным фактором в жизни страны. Уже организованы целые институты, занимающиеся применением математики и электронно-вычислительных машин в экономике и планировании.

Радиоэлектронные приборы в настоящее время достигли большого развития и применяются почти во всех отраслях науки, техники, промышленности. Универсальность электронных приборов позволяет приспособить их для самых разнообразных целей. На футбольном матче мы видим зажигающееся табло с необходимыми надписями; на спортивной олимпиаде интервал времени при беге на 100 *м* измеряется автоматически электронным секундомером, и ему доверяют больше, чем самому квалифицированному судье; степень влажности зерна или древесины определяется по отклонению стрелки прибора; на птицеферме электронный счетчик подсчитывает число кур, ушедших на кормежку (потому что, переходя через планку дверного порога, курица наступит на него, замкнет цепь и добавит единицу на цифровом табло счетчика); более сложные измерительные устройства позво-

ляют подсчитать число лейкоцитов, видимых в микроскоп при анализе крови, и т. д. и т. п.

А как же с чисто гуманитарными науками? Их представители часто обращаются к помощи технических наук. Археологам, криминалистам, искусствоведам и историкам для установления дат различных событий, подлинности исторических документов, отождествления портретов и в тысячах подобных случаев приходится прибегать к помощи химии, физики и пр. Микроструктурные, люминесцентные, рентгеноскопические и другие анализы позволяют искусствоведам устанавливать авторство и подлинность предметов искусства.

Датчики, которыми в очень большом ассортименте располагает радиоэлектроника, позволяют любую исследуемую величину преобразовать в электрическую и потом измерить электрическими или электронными приборами. Не нужно думать, что этими датчиками должны быть обязательно общеизвестные микрофоны, фотоэлементы, термисторы и пр. Катушка индуктивности — тоже прекрасный датчик. Сейсмологи с давних пор строили сейсмографы так: к большой массе, подвешенной на пружинах, прикреплялось пишущее перо. Перо касалось движущейся бумажной ленты в механизме, соединенном жестко с почвой. В случае землетрясения лента начинала колебаться вместе с землей, а масса, скрепленная с пером, вследствие очень мягкой подвески сохраняла свое первоначальное положение. В результате перо прочерчивало на бумажной ленте кривую линию — сейсмограмму. Радиоэлектроника предложила более простой и более чувствительный способ: катушка двигается относительно мягко подвешенного сердечника. При этом в катушке возбуждается электродвижущая сила. Далее следуют усилитель и пишущий прибор. А не так давно в сейсмографе применили конденсатор, расстояние между пластинами которого при колебаниях изменяется.

Измерение вибраций было раньше очень трудным делом, во многих случаях неразрешимым. Теперь пьезодатчики прикрепляются к интересующей части объекта, электрические импульсы от него поступают к приборам или к усилителям. Вибрацию можно видеть на экране осциллографа, можно записывать на ленту и пр. Магнитофоны дают возможность запечатлеть многое для последующего

повторения, изучения и сравнения. Это могут быть электрические сигналы любого характера, а радиоэлектроника любое воздействие может превратить в электрические сигналы.

В настоящее время широко используется радиоспектроскопия, в которой используется свойство атомов вещества поглощать радиоволны резонансной частоты. Как уже было рассказано в первой части книги, радиоволна определенной частоты может перевести атом из обычного состояния в возбужденное или, если атом уже возбужден, возвратить его в нормальное состояние, соответствующее наименьшему количеству его энергии. Если какой-то объем заполнить достаточно разреженным газом и пропускать через него пучок радиоволн, меняя плавно их частоту, то, найдя ту частоту, на которой происходит поглощение волн, можно определить, какой это газ. Пучок радиоволн получают обычно от клистронов, допускающих изменение частоты генерируемых колебаний, а исследуемый газ помещают в цилиндр, заделанный на торцах слюдой, пропускающей радиоволны.

В ядерной физике широко используется масс-спектрометр — ионно-оптический прибор для разделения и определения масс изотопов. Его действие основано на взаимодействии движущейся заряженной частицы с магнитным полем. Частицам придается равная скорость движения. При этом частицы с одинаковым зарядом и массой движутся в магнитном поле одинаковым пучком. Частицы, масса которых иная, будут двигаться по различным траекториям, что и дает возможность определить их массу. Масс-спектрометр, в котором регистрируется одновременно весь спектр масс, называется масс-спектрографом.

Способов использования радиоэлектроники для различного рода исследований много. Распространен, например, рентгеновский анализ, дающий возможность определить расположение атомов в металлах и установить вид их кристаллической решетки. Радиоволны используются даже для исследования космических тел. По характеру отражения радиолокационных импульсов от космического тела удается составить представление о характере его поверхности. Радиоэлектроника дает в руки ученых и инженеров многочисленные, разнообразные, надежные и точные способы исследования.

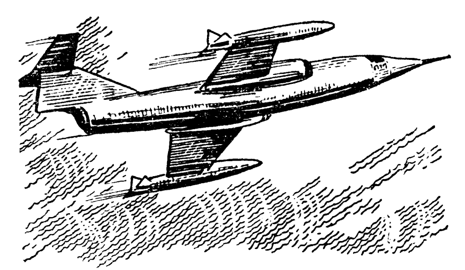
Перечислить все средства и возможности, которыми снабдила радиоэлектроника следопытов науки и первопроходцев техники, немыслимо. К приборам новой техники относится электронный микроскоп. Медицина, биология и многие другие специальности требуют глубокого проникновения в микромир, в мир невидимого. Много десятков лет активным помощником в этом был оптический микроскоп, который имеет естественный предел коэффициента увеличения (примерно 2 000). Предел увеличения оптического микроскопа определяется тем, что объекты, приближающиеся по размерам к $^1/_4$ длины световой волны, нельзя вообще «видеть» ибо они не будут отражать эти волны.

Электронная техника позволила обращаться с электронным потоком так, как обычная оптика обращается с лучами света. Поток же электронов после отражения от малых предметов можно наблюдать на экране электронно-лучевой трубки. В результате были созданы электронные микроскопы, дающие увеличение в сотни тысяч раз. Электронный микроскоп позволил обнаружить неуловимых до того вирусов и даже разглядеть наиболее крупные молекулы. Правда, микробы в обычный микроскоп можно видеть в движении, живыми, вирусы же не выдерживают электронного облучения, и поэтому в электронном микроскопе видны, так сказать, их трупы. Возможно, что с повышением чувствительности электронных микроскопов удастся преодолеть этот недостаток. Однако надо помнить, что просто «увидеть» живой атом с его электронными оболочками и протонами невозможно и теоретически, ибо любое облучение атома внесет, как было рассказано в первой части книги, нарушение его структуры и, следовательно, того, что мы собирались «посмотреть», уже не будет. Ядерная физика для изучения атома и его ядра пользуется многочисленными вспомогательными средствами.

Радиоэлектронные методы измерений характерны еще возможностью промеров исключительно малых величин. Взять к примеру измерения времени. Лучшие секундомеры могут измерять сотые доли секунды, но эти измерения не бывают точны не только в сотых, но даже в десятых долях секунды. Секундомер должен пустить в ход и остановить человек или какое-нибудь механическое приспособление. Человек всегда запаздывает, а у меха-

низмов есть инерция, тоже приводящая к запаздываниям. Электронные методы измерений с помощью, например, электронно-лучевых трубок дают возможность измерять миллионные, десятимиллионные и даже еще меньшие доли секунды, причем измерять с большой точностью и без запаздывания. Не знают запаздывания даже наиболее простые установки с фотоэлементами, поэтому в области спорта теперь все чаще пользуются электронными способами измерений (в частности так называемый «фотофиниш»).

Когда говорят об огромной помощи, оказываемой радиоэлектроникой всевозможным другим областям, то в основном имеют в виду измерения. Измерения, производимые на искусственных спутниках и космических кораблях, служат ярким примером в этой области. Как можно было бы произвести измерения, скажем, интенсивности космических лучей где-то в межпланетном пространстве на расстоянии в миллионы километров от Земли



Современный самолет нельзя назвать летающей радиостанцией - это летающий радиоцентр

Рис. 131.

и передать данные этих измерений на Землю, если бы не было радиоэлектроники?

Современная авиация (рис. 131) без радиоэлектроники существовать не может. Самолет насыщен радиоэлектронной аппаратурой. На каждом самолете есть несколько радиопередатчиков и радиоприемников: для связи с аэродромами на большом расстоянии, для связи с ними на малом расстоянии, для связи с другими самолетами, для приема наводящих станций, аварийный и пр.

Обязательны для самолета радиолокационные станции: одна — рисующая на экране карту лежащей под самолетом местности, вторая — непрерывно прощупывающая пространство перед самолетом. На военных самолетах радиолокационных станций еще больше. На них есть специальные станции «защиты хвоста», станции, «глядящие» вверх, и т. п. Разнообразная аппаратура применяется для ориентировки и следования точно по курсу. Основой является станция наведения, на которую самолет устанавливает курс. Электронная аппаратура сама точно выведет самолет на эту станцию. Такая аппаратура — автопилот, — как правило, и водит эти самолеты. Летчик только наблюдает за правильностью работы приборов. Электронный высотомер все время показывает точную высоту полета над уровнем земли в данном месте. Если летчик захочет уточнить свое положение (местонахождение самолета), то он может запеленговать два специальных радиомаяка, работающих непрерывно, и по этим пеленгам ориентироваться совершенно точно. Вся перечисленная аппаратура в основном является измерительной (измеряет время, расстояния, направления).

Измерение времени

Кажется, давным-давно известная вещь — часы. Ну что здесь делать радиоэлектронике? Тут действует либо гиря, либо пружина. Но радиоэлектроника вторглась и в эту область. Мы не имем в виду возможность проверять время по радиосигналам — хотя это и относится к часам, но это не часы. Это просто одна из форм радиосвязи. Но вот кварцевые часы — это уже радиоэлектроника. Здесь используется способность кварцевых пластин— строго стабилизовать частоту колебаний генератора электрических колебаний. А постоянство частоты колебаний — это основа часов, обладающих исключительным постоянством хода. Среднее суточное колебание хода кварцевых часов составляет всего десятитысячные секунды. Примерно за 13 лет они могут «отстать» или «убежать» на доли секунды.

Как будто бы неплохо? Но ученые говорят — плохо! Надо точнее. И вот построены квантовые часы. Атом, если он не входит в какую-нибудь систему, имеет строго постоянную резонансную частоту. На этом основана моночастотность молекулярных генераторов (стр. 142). Кван-

товые часы идут так точно, что ошибка в одну секунду может набежать у них лишь за три тысячи лет. Вот и сравните: 13 лет и 3 000 лет. Конечно, кварцевые часы по сравнению с молекулярными представляют собой то же, что простые ходики по сравнению с хронометром. Их «точность» хуже в сотни раз.

— Ну вот! — скажете вы. — Кварцевые часы, молекулярные часы — это сложно, дорого и вообще не для нас!

Конечно, молекулярные часы не для нас с вами, и в обиходе они вообще не нужны. Но радиоэлектроника позаботилась и о нас. Зайдите в часовой магазин и купите наручные часы «Слава» (рис. 132). Они очень интересны — у них нет головки для завода. Вы скажете: «Знаем, мы их сами подзаводим, потому что машем рукой, — это, так сказать, инерциальные часы». Но вы не угадали, Эти часы можно положить на стол и не трогать сутки, неделю, месяц... Они все равно будут идти. В этих часах работает транзистор, подобный тем, которые применены в вашем портативном радиоприемнике. Транзистор генерирует частоту, равную собственной частоте имеющегося в часах камертона, который поэтому вибрирует и приводит в движение механизм часов. А питается он от малюсенькой батарейки, заряда которой хватает на год. Через год вы смените батарейку и опять можете год не беспокоиться.

Эти часы — очередное проникновение радиоэлектроники в наш быт. У вас есть радиола, телевизор, магнитофон, возможно, есть еще маленький транзисторный радиоприемник для прогулок и отпуска. Ваш фотоаппарат снабжен селеновым экспонометром и газоразрядной лампой-вспышкой, а может быть, и транзисторной автоматикой (есть и такие!). В вашем универсальном измерительном приборе-авометре работает купроксный выпрямительный элемент, ваша комната освещается газоразрядными люминесцентными лампами. Теперь вы можете пополнить свой домашний инвентарь радиоэлектронной аппаратуры полупроводниковыми наручными часами.

Последняя новинка радиоэлектроники

камертонные часы

Рис. 132.

Геология

Перед геологами стоит трудная задача — определить, что имеется в недрах земли, найти полезные ископаемые. Рыть шахты очень трудно и дорого, даже буровые работы являются нелегким делом и стоимость их велика. Поэтому углубляться в землю можно лишь тогда, когда есть значительная уверенность в успехе. А такая уверенность рождается только в результате накапливания и изучения всевозможных косвенных признаков. Тут в числе прочего приходит на помощь и радиоэлектроника.

Землю можно прощупать колебаниями, вызвав их появление и изучив их распространение и отражение от глубоко лежащих пластов и образований. Нужные колебания обычно создаются взрывами. Взрывная волна распространяется в земле. Если на их пути встретится водоносный слой, грунт, насыщенный нефтью, пустоты, наполненные газом, и пр., то происходит отражение колебаний, которое может быть уловлено на поверхности. Серией взрывов и наблюдений за распространением колебания устанавливают наличие инородного объема, его примерную конфигурацию и характер.

Вместе с учетом всех других данных — характера пород на поверхности, растительности и ее состава, исследования и анализа воды и поверхностных слоев почвы и др. — это дает возможность с достаточной уверенностью определять возможность залегания нужных ископаемых. В ход идут и магнитные исследования, и радиационные.

Все больше опыта накапливают геологи, все реже они ошибаются. Результаты этого мы знаем: новые нефтеносные районы, места рудных разработок, угольных бассейнов появляются на карте там, где о горном промысле и не помышляли.

Моря и их обитатели считались безмолвными. Но когда исследователи получили радиоэлектронную аппаратуру, то выяснилось, что само море издает звуки (например, известный «голос моря» — предвестник шторма), и его обитатели не только не немы, но, наоборот, часто исключительно болтливы. Они трещат, свистят, скрипят, цокают и стонут. Они понимают друг друга, а у некоторых, например у дельфинов, есть даже, естественно, при-

митивный, но все же достаточно развитый язык, при помощи которого они общаются.

Теперь пришла очередь земли. Для прощупывания земли прибегали к искусственным колебаниям, которые создавались взрывами. Прохождение этих колебаний, их отражения воспринимались разными приборами, в том числе и акустическими. И вот оказалось, что в земле слышны звуки (имеем в виду колебания звуковой частоты) не только те, которые порождены взрывами или вообще вызваны действиями человека. Выяснилось, что в земле распространяются волны звуковой частоты, порожденные различными процессами, происходящими в ее недрах.

Исследование таких звуков дает возможность получить дополнительные сведения о структуре земных недр на очень большую глубину. Радиоэлектронная техника дает очень хорошие средства для таких исследований. «Голоса земли» записываются на магнитофонную ленту. Сопоставление одновременных записей, сделанных в разных местах, показывает разницу в прохождении звуковых волн по разным направлениям и дает возможность судить на этом основании о структуре недр. Для этой цели создана специальная аппаратура. В 1964 г. подобная сейсмическая станция «Земля» демонстрировалась на Выставке достижений народного хозяйства в Москве. Она создана во Всесоюзном научно-исследовательском институте геофизики.

Есть у Земли и еще один «голос». Урановое семейство элементов обладает той или иной радиоактивностью (в зависимости от процессов, происходящих в глубинах Земли, и от скорости распада тех или иных промежуточных продуктов распада). При большой чувствительности индикаторных приборов с ионизационной камерой и ионизационных счетчиков производится разведка урановых месторождений с помощью радиометров. Эта разведка ведется и на поверхности Земли, и с помощью γ-каротажа всех скважин (т. е. опускания измерительно-индикаторных приборов внутрь скважин с непрерывным телеметрическим наблюдением или записью на поверхности Земли). Эти результаты используются как при поиске, так и на всех этапах разведки урановых месторождений (предварительной, детальной и эксплуатационной). В поисках же радиоактивных руд участвуют: аэрорадио-

геологические исследования, авторадиометрическая съемка (на автомашинах) и при пешеходном обследовании земной поверхности бета-съемка, гамма-съемка, геоботаническая съемка, люминесцентная съемка, уранометрическая съемка, эманационная съемка, гамма-каратаж, гидрогеохимическая съемка. Как видим, поиск и разведка радиоактивных руд представляют собой сложную и трудную работу с применением очень многих измерительных приборов, главным образом радиоэлектронного характера.

Трудно догадаться, как радиовещание может помочь разведке земных недр. А между тем такая реальная помощь есть. Суть ее заключается вот в чем. Радиоволны, распространяясь над поверхностью земли, претерпевают затухание, величина которого зависит от характера этой поверхности: поля, леса, болота, водные пространства, пески и т. п. Это знали уже давно. Но оказывается, что на распространение радиоволн влияет не только то, что находится на поверхности, но и то, что находится под ней. Если в разных местах совершенно однородной поверхности земли измерить величину напряженности поля, создаваемой какой-нибудь радиостанцией, то в иных случаях получается не такая однородная картина, как ожидается. Исследования показали, что над залежами руды напряженность поля больше, чем над обычными породами. Над подземными источниками пресной воды она в 2—8 раза меньше, чем там, где в земле есть «запасы» соленой воды, и т. д. Между прочим, в Каракумах этим способом были открыты подземные озера пресной воды. О важности этих находок говорить не приходится.

Этот пример очень характерен. Он показывает, как внимательное отношение к наблюдаемым явлениям, их взвешивание, продумывание и поиски истолкования могут выявить взаимосвязи там, где их совсем не ждешь. Между прочим любители легенд могли бы воспользоваться этим примером и пополнить имеющийся в истории ассортимент. Вдобавок к архимедовой ванне, ньютоновскому яблоку и уаттовскому чайнику можно присовокупить еще транзисторный радиоприемник «Атмосфера» — мол, один геолог, бродя с таким приемником по Каракумам, заметил, что в определенном районе слышимость каждый раз уменьшается. Истории неизвестно, сказал ли он при этом «Эврика!» или не сказал, но во всяком слу-

чае богатые подземные запасы такой нужной в Каракумах пресной воды были найдены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хочется сказать несколько слов о перспективах. Но мы не будем фантазировать о новых удивительных электронных приборах или о новых областях применения радиоэлектроники. Действительные достижения радиоэлектроники давно перегнали проникновенное воображение писателей-фантастов, которые теперь дружно перекинулись на более безопасные плацдармы отдаленных галактик и туманностей и налегают главным образом на вытекающие из теории относительности особенности течения времени в быстро движущихся космических кораблях.

В радиоэлектронике намечается новое направление, которое, может быть, приведет к коренному изменению технологии производства. Радиоэлектронные аппараты велики, и сборка их очень трудоемка. Надо взять множество деталей, укрепить их и соединить проводами. И провода и детали должны быть расположены совершенно определенным образом, иначе между ними возникнут нежелательные связи, которые сорвут работу аппарата. Требуется высокая точность сборки, которую трудно обеспечить. Две главнейшие проблемы — уменьшение размеров и точность сборки.

Размеры деталей систематически уменьшаются. Это явление, положительное само по себе, на каком-то этапе становится отрицательным. В радиоэлектронной аппаратуре очень много деталей, часто непомерно много. А ведь все детали соединены друг с другом. Между ними осуществляются электрические контакты. При множестве деталей в аппарате имеется вдвое-втрое больше контактов. Недаром радиоэлектронику иногда в шутку называют «техникой контактов». Каждый из этих контактов должен быть очень надежным, а соединение между двумя контактами не должно представлять опасности в отношении создания нежелательной связи — индуктивной или емкостной — между частями схемы. Электроника все глубже проникает во все отрасли науки и техники. Считают, что в течение 15 лет мы должны увеличить выпуск электрон-

ной техники в 6 раз, уменьшить количество потребляемой ею энергии в 100 раз и повысить ее эксплуатационную надежность не менее чем в 100 раз.

Все это делает монтаж чрезвычайно ответственным делом. Тысячи, десятки тысяч, миллионы, а иногда и больше соединений надо сделать надежно и правильно. Эти требования с трудом укладываются в пределы мыслимого при сравнительно крупных деталях. Но их миниатюризация приводит к затруднению монтажа. На какомто этапе приходится вести монтаж уже под микроскопом. Так собирают экспериментальные устройства. Но, во-первых, подобная сборка происходит очень медленно, а во-вторых нельзя требовать, чтобы все сборщики по своим дарованиям были подобны прославленному в веках туляку, который сумел подковать блоху. Поэтому массовый конвейерный выпуск аппаратуры при сборке под микроскопом, очевидно, надо считать невозможным.

Пока массовые детали еще не достигли «микроскопической» величины, но они все же так малы, что приходится отказываться от старых форм ручного монтажа и переходить на какой-нибудь из видов автоматики. Монтаж проводами, получивший название «навесного монтажа», отходит в прошлое. Распространен «печатный монтаж», при котором соединительные провода наносят по разработанному трафарету электрохимическим способом (рис. 133). В других случаях вся монтируемая плата покрывается металлической фольгой, которая уничтожается химическим способом там, где ее не должно быть, а линии соединений остаются. Это гарантирует полную однородность монтажа, исключает ошибки в соединениях. Детали крепятся к платам с готовым монтажом и соединяются пайкой с лепестками, причем все пайки произво-



Рис. 133.

дятся одновременно методом «погружения». В некоторых случаях часть деталей, например катушки и сопротивления, тоже «печатают» на плате.

Но разработки идут дальше. Известны конструкции так называемых функциональных блоков и микромодулей, представляющих собой узлы, изготовленные способом, напоминающим печатные схемы. Они монтируются на очень небольших платах, по размерам примерно подобных трехкопеечной монете. Эти платы собираются столбиками, что дает огромную экономию места (рис. 134).

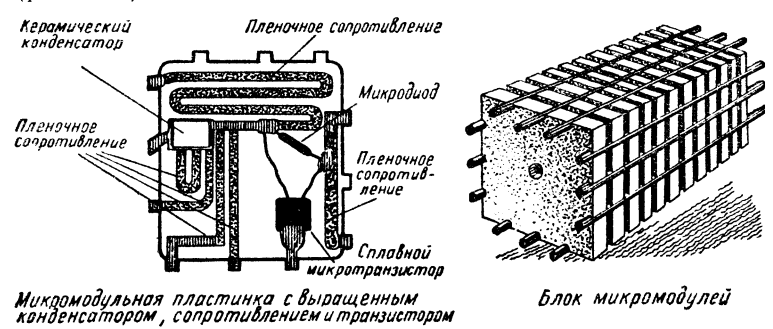


Рис. 134.

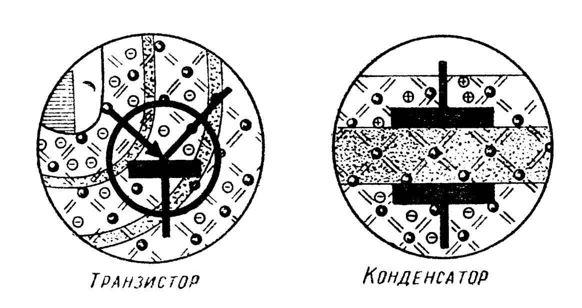


Рис. 135.

Но поиски идут еще дальше. Такие виды монтажа и изготовления аппаратуры мыслятся только как промежуточные этапы. Следующим этапом будет, вероятно, пленочный способ. Он состоит в напылении на твердую

подложку из изолятора через «маски» (трафареты) деталей и соединений. Электронный блок составляется из нескольких таких слоев. Идут работы по созданию пленочных диодов (полупроводниковых) и транзисторов.

Намечается переход на еще более высокий метод изготовления как деталей, так и целых блоков и аппаратов, — способ, который можно назвать «способом на молекулярном уровне». Полупроводниковые диоды и триоды (транзисторы) — это кристаллы с запирающим слоем, образующимся на стыке двух полупроводников с разной проводимостью: электронной и дырочной (рис. 135). Принципиально такое же устройство имеет и ряд других деталей — например, фотодиоды, вентильные фотоэлементы. Так может быть устроен и конденсатор, в том числе и переменный, поскольку емкость такого конденсатора зависит от толщины запирающего слоя, а ее можно изменять подведением к нему напряжения нужной величины и полярности.

Все такие детали пока «делают»: выращивают кристаллы, добавляют к ним присадки и пр. Но принципиально возможно «вырастить» готовый диод, а следовательно, и триод, и конденсатор, и фотоэлемент и пр. Дело идет к тому, чтобы не собирать такие детали, а выращивать их готовыми. Где-то в перспективе виднеется возможность выращивания целых каскадов или блоков, а потом, может быть, и целых аппаратов. Уж есть название этому новому виду электроники — молекулярная электроника, или, сокращенно, молектроника. Теоретически продукция, полученная таким способом, может быть настолько компактна, что тысячи элементов схемы займут объем примерно в один кубический сантиметр. Вот примерные цифры, которые не являются «умозрительными», — они основаны на реальных экспериментах. В ламповой аппаратуре (например, приемниках и телевизорах) на сто кубических сантиметров объема приходится одна деталь. В транзисторной аппаратуре с обычным «навесным» монтажом одна деталь приходится на один кубический сантиметр. В аппаратуре с микромодульной системой монтажа плотность монтажа доходит до 20 деталей на кубический сантиметр. А методом молектроники можно плотность монтажа довести до 300 деталей на кубический сантиметр, и это нельзя считать пределом.

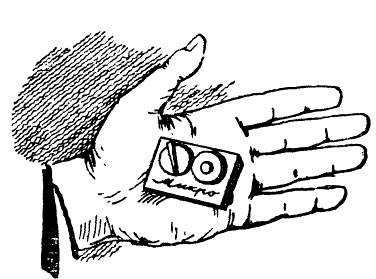
«Выращивание» аппаратуры даже в наши дни пред-

ставляется в какой-то степени фантастикой. Но техника идет к этому. На эту тему можно написать много восторженных слов. Но мы не будем делать этого. Читатель может сам представить себе, какая необычайная по значимости революция в производстве произойдет, если окажется возможным продукцию не изготавливать при помощи станков и инструментов, а выращивать ее.

Радиоэлектроника, которую иногда называют комплексом чудес, находится на пути к этой возможности (рис. 136 и 137).

Совершая небольшую экскурсию в будущее радиоэлектроники, надо сказать, что возможности приборов и средств радиоэлектроники, хорошо известных ныне, далеко не исчерпаны. Удивительные дела совершают и еще более удивительные сулят в будущем не только такие приборы радиоэлектроники, которые являются ее «последним словом», вроде лазеров, параметрических, молекулярных и парамагнитных усилителей. Часто такие же сказочные перспективы открывают и самые простенькие, незаметные устройства, такие, как например, полупроводниковые диоды.

Ну, чего можно ожидать от полупроводникового диода? Он добросовестно трудится как детектор в радиоприемниках и как вентиль в выпрямителях. Работа очень нужная и заслуживающая уважения, но как будто бы не открывающая сияющих перспектив. А между тем ...



Транзисторный радиоприемник «МИКРО»

Рис. 136.



Вот такие телевизоры уже готовят к массовому производству

Рис. 137.

Наши электростанции вырабатывают переменный ток. Но народному хозяйству во многих случаях требуется

постоянный ток. Его потребителями являются заводы по производству цветных металлов, городской и железнодорожный электротранспорт, химические заводы. Этим потребителям приходится превращать переменный ток в постоянный. Для этого в основном применяются мотор-генераторы и ртутные выпрямители. Их к. п. д. невелик, например в мотор-генераторах он составляет всего 70—80%. В «Известиях» недавно была приведена интересная цифра: 20% всей вырабатываемой в нашей стране электроэнергии преобразуется в постоянный ток. Оказывается, что низкий к. п. д. применяющихся преобразователей приводит к тому, что на потери при преобразовании расходуется столько электроэнергии, сколько ее вырабатывает Куйбышевская ГЭС. Огромная электростанция работает только на покрытие низкого к. п. д. преобразователей!

Но этим не ограничивается то, на что способен полупроводниковый диод. Представьте себе пластинку из монокристаллического кремния, в которой созданы три электронно-дырочных перехода, т. е. три *n-p* перехода. Такое устройство не может пропустить ток ни в какую сторону до тех пор, пока через третий электрод, называющийся управляющим, не пройдет ток порядка нескольких десятков миллиампер. Этот ток «открывает» вентиль, который пропускает ток в 100—200 *а* определенного направления.

Подобное устройство обладает удивительными возможностями. При помощи двух таких вентилей можно преобразовывать частоту переменного тока. Частота вторичного тока будет равна частоте управляющих импульсов. При его помощи можно преобразовать постоянный ток в переменный. В общем, полупроводниковые диоды различного устройства позволяют повышать напряжение постоянного тока, преобразовывать частоту переменного тока, превращать переменный ток в постоянный, и наоборот, очень малой мощностью регулирующего тока регулировать величину выпрямленного тока. Специалисты считают, что развитие устройств такого рода произведет настоящий переворот в технике. Например, можно будет отказаться от коробок передач и редукторов и заменить в станках и т. п. механическую кинематику электрической, и даже в тракторах и автомашинах осуществить электрическую передачу энергии на колеса вместо нынешней сложной трансмиссии. Недаром «Известия» статью о та-

ких возможностях назвали: «Волшебники электрических превращений».

Ну как же после этого не назвать радиоэлектронику комплексом чудес?

На первых страницах этой книги мы предложили читателю начать наше путешествие в мир радиоэлектроники с экскурсии в область элементарных частиц. Изучение этих частиц, их свойств и особенностей, способов управления их движением, их разделения и объединения дает в руки человеку невиданное могущество. Начальной эрой развития техники первобытного человека была эра дерева и камня. Наш прапрапредок учился пользоваться деревом и камнем и приспосабливать их для своих целей. Затем наступила эра огня и позже эра металла. Одновременно начала развиваться энергетика. Были поставлены на службу человеку ветер и вода. Следующим крупнейшим шагом стало овладение силой пара и затем электричества. Одновременно укорачивались временные масштабы. Если первые эры были действительно эрами и длились долгими тысячелетиями, то по мере приближения к нашему времени продолжительность «эр» все сокращалась. Уже период, прошедший под знаком пара, в лучшем случае мог быть назван веком, а последующие этапы повели счет на десятилетия. Да и число претендентов на право присвоения себе отдельных эр, эпох, веков или иных подразделений стало быстро расти. Век электричества хотели сменить веком радио, но вскоре свои права заявила атомная техника, потом радиоэлектроника и наконец завоевание космоса.

Каждый из претендентов имеет серьезные права, но правильнее всего будет сказать, что человечество вступило в новую, сулящую сказочные перспективы эру овладения элементарными частицами. И в этой области почетнейшая роль принадлежит радиоэлектронике, которая помогла развиться атомной технике, без которой человек не проник бы в космос и которая обеспечивает переход всех областей науки и техники на новую, гораздо более высокую и совершенную ступень развития.

Цена 70 коп.